Ueber die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß im Reußgebiete

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
hohen philosophischen Fakultät der
Universität Basel

vorgelegt von

RUDOLF ROTH
aus Basel

BASEL 1923

Ueber die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß im Reußgebiete

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
hohen philosophischen Fakultät der
Universität Basel

vorgelegt von

RUDOLF ROTH
aus Basel

BASEL 1923

Genehmigt von der mathematisch-naturwis
schaftlichen Abteilung der philosophischen Fak
auf Antrag der Herren Professoren Dr. *Hassi*
und Dr. *Niethammer.*

BASEL, den 5. Juli 1921.

Prof. Dr. *H. Mohrmann.*
Dekan.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

VORWORT.

Die vorliegende Arbeit ist entstanden in der Geographischen Anstalt der Universität Basel.

Die Anregung dazu erhielt ich von Herrn Prof. Dr. *H. Hassinger,* unter dessen Leitung die Abfassung geschah. Für das Wohlwollen und die Förderung, die er der Untersuchung angedeihen liess, sei meinem hochverehrten Lehrer der wärmste Dank ausgesprochen.

Dem Schweizerischen Amt für Wasserwirtschaft des Eidgenössischen Departements des Innern und der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt sei an dieser Stelle bestens gedankt für die freundliche Ueberlassung von bisher unveröffentlichtem Material, durch das die Arbeit eine wesentliche Förderung erfuhr.

Ferner sei auch Herrn Prof. Dr. *Niethammer* der verbindlichste Dank ausgesprochen für die Erlaubnis zur Benützung der Bibliothek der Astronomisch-meteorologischen Anstalt der Universität Basel.

Erster Teil.

1. Einleitung.

Seit *A. Penck*[1] 1896 an Hand der *Ruvarac*'schen Zahlen seine grundlegenden Untersuchungen über das Böhmische Elbegebiet veröffentlichte, damit zum ersten Male das physischgeographische Problem der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in vorbildlicher Weise behandelte, sind in bunter Reihenfolge Arbeiten über dieses Problem erschienen.

Pencks Versuch[2]), die aufgestellten Schlußfolgerungen zu Abflußformeln für ganz Mitteleuropa zu verallgemeinern[1—2]), Formeln zu finden, die gestatten, aus bekannten Niederschlagsmengen, die Abflußmengen innerhalb gewisser Fehlergrenzen zu ermitteln, wurde in der Folge von verschiedener Seite wiederholt.

Die Untersuchungen *W. Ule's*[3]) über die Saale und daran anschließend über ganz Mitteleuropa[4—5]) bewegten sich in der gleichen Richtung. In der Absicht, durch eine einzige Gleichung die Abflußverhältnisse von ganz Mitteleuropa auszudrücken, stimmten beide überein, doch nicht in der Form der Gleichung.

Einen wesentlichen Fortschritt brachten die Untersuchungen *A. Keller's* über Niederschlag, Abfluß und

---

[1]) A. Penck: Die Abfluß- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen nebst Untersuchungen über Verdunstung und Abfluß von größeren Landflächen. Geogr. Abhdlg. V. 5, Wien 1896.

[2]) A. Penck: Die Flußkunde als Zweig der phys. Geographie. Ztschr. f. Gewässerkde. I, 1898.

[3]) W. Ule: Zur Hydrographie der Saale. Forschg. z. deutschen Landes- u. Volkskde. X. 1. 1896.

[4]) „ Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa. Forschg. z. deutschen Landes- u. Volkskde. XIV. 5, 1903.

[5]) „ Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa. Ztschr. Ges. f. Erdkde. Berlin 38, 1903, S. 2.

Verdunstung in Mitteleuropa[6]). Er faßte die vorhandenen Spezialuntersuchungen zusammen und versuchte, daraus ein Abflußgesetz aufzustellen. Nicht in einer einzigen Gleichung, welche die Eigenschaften aller Gebiete enthält, aber auch wieder verwischt, wurde die Lösung gesucht, sondern in der Absteckung der Grenzen, innerhalb derer die Sondereigenschaften eines Gebietes das Abflußgesetz verändern können. So entstanden drei Gleichungen an Stelle einer einzigen. Die eine, die Hauptlinie, charakterisiert das Durchschnittsverhalten aller untersuchten Flußgebiete durch Mittelbildung, während die beiden andern, die Grenzlinien, die Abweichungen von diesem Durchschnittsverhalten, durch Sondereigenschaften der Untersuchungsgebiete bedingt, nach der einen oder andern Seite zahlenmäßig festlegen. Es kam ihm also nicht nur darauf an, ein Gesetz zu finden, das das Verhalten der Einzelgebiete mit einem Minimum von Abweichungen umfaßt, sondern ebensosehr diese Abweichungen nach ihrer Größe zu kennzeichnen.

Schon vor Keller hatte *O. Schreiber* den Vorschlag[7]) gemacht, statt eines einzigen Gesetzes eine Anzahl von Gleichungen, die nach ihrer mathematischen Form übereinstimmen, aber entsprechend der Gebietseigenart verschiedene Konstanten besitzen, zu verwenden. Die vorgeschlagenen Gleichungen waren aber verwickelter als die Keller'schen.

Es ist das Verdienst *Keller's* ausdrücklich darauf verwiesen zu haben, daß nicht die Methode des Verallgemeinerns von Ergebnissen, die nur für beschränkte Gebiete strenge Gültigkeit besitzen, zum Ziele führen kann. Nur durch zahlreiche Spezialuntersuchungen kann das Material beschafft werden, aus dem dann allgemeingültige Gesetze zu gewinnen sind.

Die zahlreichen seither erschienen Einzeluntersuchungen sind am Schlusse dieses Abschnittes aufgeführt, soweit sie zur Verfügung standen.

Auch in der Schweiz sind solche Arbeiten schon unternommen worden. Neben den beiden Arbeiten über Niederschlag und Abfluß im bündnerischen Rheingebiet

---

[6]) A. Keller: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa. Jahrbuch f. d. Gewässerkde. Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen. I, 4, 1906. Auszug in Geogr. Ztschr. 13, 1907, S. 611.

[7]) O. Schreiber: Ueber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag u. der Wasserführung in Mitteleuropa. Met. Zschr. 1904.

von *E. Roder*[8]) und von *L. Fischer*[9]) über die Thur und Glatt, ist auch sonst dieses Problem behandelt worden, insbesondere hat A. Engler den Einfluß des Waldes auf das Verhältnis von Niederschlag und Abfluß in einer umfangreichen Arbeit untersucht ([10]—[14]).

Die Arbeit Roders ist auch wegen des Versuches wertvoll, die Niederschlagsmengen des bündnerischen Hochgebirges zu schätzen, für das nur spärliche oder gar keine Angaben vorlagen. Die Schlußfolgerungen der Arbeit, die sich auf die Periode 1894—1909 bezieht, leiden jedoch unter der Ungenauigkeit der älteren Messungen der Abflußmengen. Diese können erhöhten Ansprüchen nicht mehr ganz genügen und wurden deshalb auch schon von verschiedener Seite angezweifelt [15]).

Wesentlich günstigere Voraussetzungen hatte die Untersuchung des Thur- und Glattgebietes, die sich in der Hauptsache auf die Periode 1904-1914 bezieht, wo speziell für die Niederschlagsverhältnisse die Station auf dem Säntis gestattete, alle Aufschlüsse über die Niederschlagsverhältnisse der höheren Regionen zu erhalten.

Das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft beschäftigt sich neuerdings auch mit diesen Problemen. Der Oberingenieur *O. Lütschg*[16]) ist mit einer Untersuchung des Mattmarkseegebietes beschäftigt, wo durch eine grössere Gruppe aufgestellter Totalisatoren genaue Aufschlüsse über die Niederschlagsverhältnisse gewonnen werden sollen.

---

[8]) E. Roder: Niederschlag und Abfluß im bünderischen Rheingebiet. Mittlg. der Schweiz. Landeshydr. 5, Bern 1914.

[9]) L. Fischer: Flußkunde der Thur und Glatt. Diss. Bern 1915.

[10]) L. Horwitz: Quelques rapprochements entre le climat, la glaciation et l'écoulement dans le bassin du Rhin alpin. Bull. soc. vaud. sciences nat. 1912.

[11]) „ Sur une particularité de l'écoulement du Rhin alpin. Bull. soc. vaud. sciences nat. Tome 49, 1913.

[12]) „ Encore sur l'écoulement du Rhin alpin. Bull. soc. vaud. sciences nat. 1914.

[13]) O. Lütschg: Der Märjelensee und seine Abflußverhältnisse. Annalen der Schweiz. Landeshydr. No. 1, Bern 1915.

[14]) A. Engler: Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mittlg. der Schweiz. Zentralanstalt für forstl. Versuchswesen 12, Zürich 1919.

[15]) L. Fischer: A. a. o. S. 163.

[16]) O. Lütschg: Niederschlag u. Abfluß im Hochgebirge. Mittlg. Nat. Gesellschaft Bern 1919.

Hatten die bis jetzt vorliegenden Untersuchungen Gebiete behandelt, die entweder ganz dem Hochgebirge, wie Graubünden, oder zum größten Teile dem Mittelland angehörten, wie das Thur- und Glattgebiet, so war es verlockend, aus der Reichhaltigkeit der Verhältnisse in der Schweiz ein Gebiet mit mannigfaltigerem Relief herauszugreifen.

Die Wahl war natürlich nicht nur nach diesen Gesichtspunkten zu treffen, sondern auch wesentlich nach dem vorhandenen Material. Am günstigsten nach allen Richtungen erschien das

Reußgebiet.

Seine Gliederung in einen Hochalpen-, Voralpen- und Mittellandteil und das Vorkommen größerer Seeflächen erschienen wie geschaffen, durch Vergleich der einzelnen Talschaften wertvolle Aufschlüsse zu geben. Die Zahl der Regenmeßstationen war hier eine verhältnismäßig große und hatte seit 1911 eine wesentliche Bereicherung durch Stationen in den Seitentälern erfahren, zudem erschien es aussichtsreich, die Resultate der im Reußgebiete oder in dessen Nähe, aufgestellten Totalisatoren zu einem Bilde der Niederschlagsverteilung in den höheren Alpenregionen zu verwerten. Auch die Zahl der Pegelstationen erschien nach den Veröffentlichungen des Amtes für Wasserwirtschaft[17]) eine genügende, um die verschiedenartigsten Einzugsgebiete miteinander vergleichen zu können.

Leider genügen aber nach den neuesten Erfahrungen jenes Amtes die älteren Abflußmengenmessungen nicht mehr den jetzigen Genauigkeitsansprüchen, da die über die Sohlenveränderungen der Flußbetten gemachten Beobachtungen zeigen, daß die durch Wassermengenbestimmungen ermittelten Zusammenhänge zwischen Pegelstand und Durchflußmenge sehr großen und raschen Aenderungen unterliegen und nur für kurze Zeit Gültigkeit besitzen. Aus diesen Gründen mußte von einer weitgehenden Gliederung des Untersuchungsgebietes leider Abstand genommen und ebenso die Untersuchungsperiode verkürzt werden.

---

[17]) Die Wasserkräfte der Schweiz. Band II. Die Wasserverhältnisse.
B. Die Wassermengen, herausgegeben durch die Schweiz. Landeshydrographie Bern 1916.

Die gewonnenen Resultate können deshalb die sehr verwickelten Verhältnisse nicht bis in alle Einzelheiten aufhellen, und ihre Gültigkeit wird vorläufig auf die Untersuchungsperiode beschränkt werden müssen.

Immerhin dürften die Untersuchungen als Versuch, die neuesten Erkenntnisse über die Niederschlagsverteilung in einem, wenn auch beschränkten Hochgebirgsgebiet, darzustellen, sie zu Vergleichen mit den Abflußmengen heranzuziehen und das verschiedenartige Verhalten der Teilgebiete eines Flußgebietes zu kennzeichnen, einen gewissen Wert beanspruchen.

Sie werden als Vorarbeit für eine auf längeren Beobachtungsreihen fußende Untersuchung vielleicht willkommen sein und Vergleichsmaterial für die gleiche Zeitspanne mitumfassende Bearbeitungen anderer Flußgebiete bieten.

Bemerkt möge noch werden, daß gerade schweizerische Untersuchungen durch präzise Abflußmengenbestimmungen gegenüber jenen Arbeiten, die nur auf Grund der Pegelstände ausgeführt wurden (vergl. verw. Untersuchungen) im Vorteil sind.

Verwandte Untersuchungen.

(Vergl. ebenso die bisherigen Anmerkungen).

K. Fischer: Niederschlag und Abfluß im Havel- und Spreegebiet. 19. Jahresber. des Berliner Zweigver. der Deutsch. Met. Ges., Berlin 1913.

K. Fischer: Niederschlag und Abfluß im Odergebiet. Jahrb. f. Gewässerkd. Norddeutschlands III, 2, Berlin 1915.

R. Fritsche: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung auf den Landflächen der Erde. Ztschr. Gew. Kde. B. VII, 1906.

E. Gennerich: Die Flüsse Deutschlands. Ebda, B. VIII, 1907.

M. Goldberg: Niederschlag und Abfluß im Etschgebiet. Geogr. Jahresber. aus Oesterreich XI, 1915.

W. Gutzmann: Der Wasserhaushalt der Lippe. Diss. Münster 1912.

J. Mathis: Die hydrographischen Verhältnisse des österreichischen Rheingebietes. Wien 1917.

A. Merz; Beiträge zur Klimatologie und Hydrographie Mittelamerikas. Leipzig 1907.

A. v. Muyden: Le régime du lac Léman et de ses affluents au cours de la période décenale 1890—1899. Bull. soc. vaud. sciences nat, Vol. 37, Lausanne 1901, S. 91.

A. Specht: Das Pegnitzgebiet in Bezug auf seinen Wasserhaushalt. Abhdlg. königl. bayr. hydrotechn. Bureau. München 1912.

E. Stummer: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung im Marchgebiete. Geogr. Jahresber. aus Oesterreich. Bd. VII, 1909.

M. v. Tein: Niederschlag u. Abfluß im Maingebiet. Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Zentralbur. f. Met. und Hydrogr. in Baden. H. 6, Berlin 1906.

M. v. Tein: Niederschlag und Abfluß im Moselgebiet, vergl. Maingebiet. Ebda H. 7, Berlin 1907.
M. v. Tein: Der Abflußvorgang im Rhein unter der wechselnden Wasserlieferung des Stromgebietes, vergl. Maingebiet. Ebda H. 8, Berlin 1908.
P. Vujevic: Die Theiß. Geogr. Abhdlg. VII, 4, 1906.
W. Wundt: Niederschlag u. Abfluß im obern Neckargebiet. Jahreshefte d. Ver. f. vaterl. Naturkde. in Württemberg. LVI, 1910.
W. Wundt: Der Abflußvorgang im obern Entzgebiete. Ebda LXXV, 1919.

2. *Die Landschaft des Reußgebietes.*

Das Reußgebiet umfaßt mit seinen 3425 qkm Flächeninhalt ein Flußsystem, das einen typischen Ausschnitt aus der geographisch und geologisch so reich gegliederten schweizerischen Landschaft darstellt. Es entwickelt sich auf der Nordabdachung der Alpen und zieht sich vom zentralen Kamm durch Hochalpen-, Voralpen- und Mittelland bis in die ersten, aus dem Molasseland auftauchenden Falten des Jura hinein, Betrachtet man das Reußgebiet als Teilstück der Schweiz, so stellt das Haupttal einen langen, schmalen, sich in nordsüdlicher Richtung erstreckenden Streifen dar, an den auf der linken Seite die großen Seitentäler der Engelberger- und Sarneraa und der Kleinen Emme angehängt sind. Durch die tiefgehenden eiszeitlichen Umgestaltungen des Reliefs sind Flußsysteme aneinander gefügt worden, die eine sehr wechselvolle Talgeschichte hinter sich haben. Gliedern wir das Untersuchungsgebiet, so können wir entsprechend der Gliederung der Gesamtschweiz folgende Teile unterscheiden:

Hochalpen-Voralpen-Mittelland und Juraanteil.

Die geographische (morphologische) Teilung entspricht nicht der geologischen Gliederung, nach ihr wären folgende Gebiete zu unterscheiden: 1. Autochthone Massive mit parautochthoner Zone, 2. Helvetische Decken, 3. Zone der überschobenen Nagelfluh. 4. Molasseland, 5. Kettenjura.

1 und Teile von 2 entsprechen dem geogr. Begriff Hochalpen, Restteile von 2 und 3 den Voralpen, 4 dem Mittelland, bei 5 stimmen die Einteilungen überein.

Für unsere Untersuchungen, die sich bis zur Pegelstation Mellingen erstrecken, bleibt der kleine Jurateil allerdings außerhalb der Betrachtung.

Im Folgenden suchen wir nun eine kurze Schilderung der das Reußgebiet zusammensetzenden Tal-

schaften zu geben. Dabei fassen wir nach Möglichkeit solche Gebiete zusammen, die auch bei den Untersuchungen über Niederschlag und Abfluß als Einheit behandelt wurden.

A) Begrenzung.

Der im Alpenkörper eingeschnittene Teil des Reußsystemes ist naturgemäß besser gegen die Nachbarflußgebiete abgegrenzt als das Flußnetz der Mittellandreuß.

Die Südgrenze wird gebildet durch den Zentralkamm der Alpen. Sie folgt im Westen vom St. Gotthard über die Mutthörner und Furkapaßhöhe der Kammlinie der Dammastock-Sustenhorngruppe, biegt am Titlis rechtwinklig W.-wärts um und geht über Jochpaß-Rothorn-Giebel zum Brünig. Im durchlässigen Kalkgestein läßt sich die Wasserscheide (bes. im Brünniggebiet) nicht durchwegs als scharfe Linie festlegen.

Vom Brünig verläuft die Grenze über das Brienzerrothorn bis zum Krüterenpaß, schwenkt nordwärts ab, erreicht über die Schrattenfluh und den Hilferenpaß bei Escholzmatt, die vermoorte Talwasserscheide zwischen Großer und Kleiner Emme, steigt über den Turner gegen den Napf empor und behält die Süd-Nord Richtung bei bis zum Twerenegg. Hier biegt sie in West-Ost Richtung ab, um ca. 2 km nördl. Wolhusen, wo auch die Kl. Emme in scharfem Knie östl. wendet, über teilweise vermoorte Talwasserscheiden vorbeizuziehen. Im Landschaftsbilde wenig scharf hervortretende Hügel zwischen alten, ihres Oberlaufes beraubten Tälern bilden die Grenze gegen die Einzugsgebiete des Sempacher- und Baldeggersees, bis sie, immer parallel dem Stammfluß, im Lindenberg gegen das Seetal wieder deutlicher hervortritt. Von hier zieht sie zwischen Muri und Merenschwanden durch und der Reuß in einem Abstande von nur 3—4 km parallel erreicht sie deren Einmündung in die Aare.

Die Ostgrenze zieht vom St. Gotthard über den Pizzo Centrale-Badus zur Oberalppaßhöhe, von hier über Piz Giuf-Piz Tgietschen-Düssistock zum Claridenstock, quert den Klausenpaß und folgt dem Kamm der Marenberge, um über die ausgedehnten Karrenfelder der Karren- und Silberenalp, wo wieder eine scharfe Grenzziehung unmöglich ist, den Pragelpaß zu erreichen.

Von hier folgt die Grenze dem Kamm zwischen Muota- und Linthtal über den Schwarzstock und die

Mythen, verläuft, zwischen Sattel und Rothenturm durchstreichend, östl. des Aegerisees, an Menzingen vorbei an den Ober Albis, streicht südl. des Türlersees über Aeugst-Bonstetten und folgt wieder wie die Westgrenze in einem Abstande von 4—5 km der Reuß bis zur Aare.

Das so umgrenzte Gebiet gleicht einem Trichter mit engem Hals und umfaßt nach den planimetrischen Ermittlungen des Amtes für Wasserwirtschaft[18]) bis zur Einmündung der Reuß in die Aare eine Fläche von 3425.16 qkm, das Untersuchungsgebiet bis zur Brücke in Mellingen eine solche von 3382.28 qkm.

Umfaßt demnach das Untersuchungsgebiet auch nicht das gesamte Reußgebiet bis zur Aaremündung, so ist doch der Unterschied (1 % der Gesamtfläche) zu gering, um einen merkbaren Einfluß auf die Resultate zu haben und er fällt umsoweniger in Betracht, als auf der 12,7 km langen Strecke Mellingen—Einmündung in die Aare keine oberirdischen Zuflüsse von Bedeutung und wohl auch nur eine relativ geringe Grundwasserzufuhr zu verzeichnen sind, sodaß die Resultate als für das Gesamtgebiet gültig betrachtet werden können.

B) Die Talschaften des Reußgebietes.

I. Das Reußgebiet bis zum Vierwaldstättersee[19]).

Dieses oberste Stück des Haupttales zerfällt in zwei nach ihrer Anlage deutlich getrennte Stücke, in das Urserental und das eigentliche Reußtal von der Schöllenen bis zum See. Das Urserental ist das Mittelstück der großen Längstalfurche Rhone-Rhein, und erstreckt sich in S. W.-N. O. Richtung von der Furka bis zur

[18]) Wasserverhältnisse der Schweiz. Reußgebiet von den Quellen bis zur Aare.
1. Teil: Die Flächeninhalte. Veröffentlichungen der Schweiz. Landeshydr. Bern 1903. Nachtrag: Bern 1911.

[19]) Die Schilderung der Landschaft beruht, neben eigenen Beobachtungen, auf den das Untersuchungsgebiet enthaltenden Blätter des topographischen Atlasses in 1:100000 (Blatt: III, VIII, IX, XIII, XIV und Ueberdruck St. Gotthard) unter Benützung von Geographisches Lexikon der Schweiz. Neuenburg 1902—10.
Die für Einzelheiten besonders herangezogene Literatur findet sich an den betreffenden Stellen gesondert angeführt.
Die Längenangaben der Wasserläufe beruhen auf:
Die Wasserkräfte der Schweiz. Band 3.
1. Teil: Die Wasserverhältnisse.
C. Die Längenprofile.
Veröffentlichungen der Abt. für Wasserwirtschaft. Bern 1916.

Oberalp, zwei im Verhältnis zum St. Gotthard und den Schöllenen leicht überschreitbare Gebirgspässe, die schon sehr früh begangen wurden. In der zwischen dem Gotthard- und Aarmassiv eingeklemmten Sedimentmulde, meist Kalken, und der Nordflanke des Gotthardmassives haben sich die vier Quellbäche der Reuß entwickelt.

Als eigentlichen Quellbach betrachtet man die am Lucendrogletscher in ca. 2400 m Höhe entspringende Gotthardreuß. Auch dieses oberste Talstück weist den für die Alpentäler so charakteristischen Stufenbau auf. Flache Talböden, in denen der Bach seine Geschiebe zeitweise ablagert, wechseln mit steilen, klammartig in die Felsriegel eingeschnittenen Laufstrecken [20—24]).

Bei Hospental vereinigt sich die Gotthardreuß mit der sich im Urserenlängstal entwickelnden Furkareuß, die in der Nähe der Furkapaßhöhe in ca. 2430 m entspringt und unterwegs aus dem Witenwassertal den bedeutendsten Seitenbach aufnimmt. Der Fluß geht dann über in einen breiten ebenen Talboden, dessen Sumpfflächen in neuester Zeit trocken gelegt werden. Bei Andermatt münden die beiden andern vereinten Quellbäche in den Hauptbach. Der größere, die Unteralpreuß, entspringt am Giubing in ca. 2400 m Höhe und durcheilt wie die Gotthardreuß ein tief in das Gotthardmassiv eingeschnittenes Tal. Kurz vor Andermatt nimmt sie die dem in 2026 m Höhe gelegenen Oberalpsee entströmende Oberalpreuß auf und beide zusammen ergießen sich unterhalb des Dorfes in den Hauptbach. Spärliche Ueberreste eines früher größeren Waldbestandes bei Andermatt (Bannwald) und seit 1875 wieder aufgeforstete Bestände ob Hospental schmücken dieses ziemlich öde mit Alpmatten bedeckte Hochtal*).

Unterbalb Andermatt durchbricht nun der Fluß, das Längstal von Urseren verlassend, in der tief ein-

[20]) L. Rütimeyer: Tal- und Seebildung, Beiträge zum Verständnis der Oberfläche der Schweiz. Basel 1869.

[21]) Alb. Heim: Erosion im Gebiete der Reuß, Jahrb. Schweiz. Alpenklub 1878/79.

[22]) „ Nachtrag zur Erosion im Reußgebiete. Vierteljahrsschr. Nat. Gesellschaft Zürich 1900.

[23]) „ Geologie der Schweiz. Leipzig 1916—21.

[24]) A. Penck-E. Brückner; Die Alpen im Eiszeitalter II. Leipzig 1909.

*) Besitzen diese Bäche in ihrem Oberlauf ein sehr starkes Gefälle, das nur oberhalb der Talstufen etwas abnimmt, so verringert es sich mit dem Austritt auf den in Aufschotterung be-

geschnittenen Granitschlucht der Schöllenen, die Südflanke des Aarmassives. Hohe Felswände und Steilhänge umsäumen das 3 km lange Stück Urnerloch-Göschenen, das der Fluß mit einem mittleren Gefälle von 100 ‰ durcheilt**).

Bis Amsteg behält der Fluß ein großes Gefälle (ca. 40 ‰). Sein Bett ist bis Gurtnellen in Granit (Protogin) und von da bis unterhalb Erstfeld in braunglimmerigen Gneisen eingetieft. An der Talstufe des Pfaffensprungs bei Wassen wird die Reuß seit 1920 gestaut und in einem Kanal längs des Hanges gegen Amsteg geleitet, wo ein Kraftwerk den Strom für den Betrieb der Gotthardbahn liefert. Als einzige größere wasserverbrauchende Fabrik des obern Reußtales wären die Carbidwerke von Gurtnellen zu erwähnen.

Unterhalb Erstfeld werden die Urgesteine des Aarmassivs durch die Kalke der parauthochtonen Falten und die Flyschzone des Schächentales abgelöst. Die Reuß selbst verläßt bei Amsteg den anstehenden Fels und verläuft ganz auf der von ihr aufgeschütteten alluvialen Schotterfläche. Auf diesem ebenen, bei Attinghausen ca. 2,5 km breiten Talboden verringert sich das Gefälle der Reuß immer mehr, sodaß das unterste Laufstück Attinghausen—Urnersee auf eine Länge von 2 km in den Jahren 1851—1861 kanalisiert werden mußte, um die Verwüstungen des Talbodens durch die mitgeführten Geschiebe zu verhüten.

Die Länge des Reußlaufes von den Quellen bis zur Mündung in den Vierwaldstätterseee (437 m) beträgt 49 km, der dabei durcheilte Höhenunterschied 1963 m, was einem mittleren Gefälle von 41 ‰ entspricht.

---

griffenen, bis zu 1 km breiten Talboden von Realp-Andermatt außerordentlich.

Stürzt sich die Furkareuß, um an einem Beispiel das Gesagte zahlenmäßig zu belegen, in ihrem Oberlaufe mit einem Gefälle von 210 ‰ ins Urseren Tal hinunter, so verringert sich das Gefälle im untersten Talstück bei Andermatt bis auf 6 ‰.

**) Um diese Gefällsstufe von ca. 300 m zur Kraftgewinnung auszunützen, liegt ein Projekt vor, das die Reuß hinter dem Urnerloch staut und das Wasser nach einer in Göschenen zu erstellenden Zentrale leitet. (Bis jetzt ist der Vorschlag an der ablehnenden Haltung der Andermatterbürger, die ihre Wohnstätten verlassen müßten, gescheitert, obwohl das Hochtal durch den Verlust der zahlreichen Hotels und Militärbauten nur an Reiz gewinnen würde. Ein Teil der Wasserkraft der Reuß wird jetzt schon zum Betrieb der Durchlüftungsanlage des Gotthardtunnels verwendet.)

Durch die fortwährende Aufschotterung erhöhte die Reuß oberhalb des Sees ihr Bett andauernd, sodaß sich an den Talflanken von Erstfeld an Grundwasseraufstöße zeigen, die sich in der Stillen Reuß sammeln und durch den aus weniger durchlässigen Gesteinen aufgebauten Schächenbachschuttkegel gezwungen werden, sich oberhalb der Mündung des Schächenbaches in die Reuß zu ergießen. Im untersten Talstück wird das oberflächlich abfließende Grundwasser der rechten Talseite hauptsächlich durch den Gießen dem See zugeführt, die linke Talseite zeigt nur geringere Aufstöße.

In dieses tief eingeschnittene Haupttal mit den verkehrsfeindlichen Talstufen bei Amsteg und Wassen, münden neben zahlreichen kleinen auch einige größere Seitentäler, so noch im Aarmassiv von links das Göscheneralp- und das Meiental. Alle diese Seitentäler zeigen Stufenbau und ihre Bäche rauschen durch tief eingesägte Mündungsschluchten in das übertiefte Haupttal oder stürzen sich in Wasserfällen in dieses hinab. Das erste bedeutendere rechte Seitental, das Maderanertal, verläuft zum großen Teil in sehr durchlässigen Kalken des authochtonen Sedimentmantels, dessen mächtige Malmkalke die Windgälle bilden. Durch ihre Durchlässigkeit veranlassen sie die Ausbildung von oberirdisch abflußlosen Becken und ausgedehnten Karrenfeldern. (Sewlisee an der Windgälle).

Einen starken Gegensatz zu diesen steilen geböschten Tälern bildet das zum größten Teil im Flysch eingeschnittene Schächental. Sanft geböschte Wiesen und Matten ziehen sich hier über leicht verwitternde mergelige Schichten, doch erzeugt der leicht durchlässige eozäne Altdorfer Sandstein auch hier schroffe Formen. Die Hochwasser des Schächenbaches sind gefürchtet und der weit in die Reußebene vorgebaute Schuttkegel gibt Zeugnis von der Geschiebeführung dieses Wildbaches.

Auf ihm liegt die einzige größere Siedlung des obern Reußtales: Altdorf, der Hauptort des Kantons Uri. Um der starken Erosionskraft Grenzen zu setzen, hat man von Spirigen an die Verbauung vorgenommen und der Schächenbach durcheilt sein unterstes Laufstück in einem kanalisierten Bett; seine Lauflänge vom Klausenpaß bis zur Mündung beträgt 19,5 km.

II. Reußgebiet Seedorf bis zur Mündung der Kleinen Emme.

Geht auch bei Flüelen der Talboden in den See über, so ist doch an der Form des Tales keine Aenderung gegen oben zu bemerken. Wir sind immer noch im übertieften Taltrog des Reußgletschers, die Seitentäler münden immer noch mit Stufenmündungen in das Haupttal, von links das Isental und von rechts das Riemenstaldertal. Dieses Talstück, mit seinen Steilwänden vom Urnersee ausgefüllt, zur Hauptsache in den Kreidekalken der helvetischen Decken eingeschnitten, gehört infolge der Durchlässigkeit dieser Schichten zu den Gebieten ausgedehnter Karrenbildung; im Riemenstaldertal ist keine Alp ohne solche zu finden, der Gegensatz dieses Hochtales im Vergleich zu den saftigen Matten der Flyschzone des Schächentales ist besonders hervorstechend.

Eine natürliche Grenze des obern Reußtales finden wir bei Brunnen, wo sich das Tal verzweigt. Ein früherer Reußlauf durchfloß die Ebene von Brunnen und erreichte über die Nagelfluhschwelle von Arth-Goldau den Zugersee; in präglacialer Zeit wandte sich der Fluß über Sattel-Rothenturm gegen den Zürichsee. Der Vierwaldstättersee ist kein einheitliches Gebilde, sondern setzt sich aus einzelnen Becken zusammen, die als Zungenbecken des diluvialen Reuß- und Aaregletschers zu deuten sind. Im See selbst finden wir die Endmoränen der Rückzugstadien des Reußgletschers besonders schön ausgebildet zwischen den beiden Nasen, am Abschlusse des Gersauer- vom Weggiserbecken, und zwischen Urnersee und Gersauerbecken bei Kindlismord. Die Entstehung des Seebeckens wird von den Glacialmorphologen durch Uebertiefung infolge Glacialerosion erklärt. Gegen diese Ansicht wendet sich *Alb. Heim,* der im Vierwaldstättersee ein, beim Rücksinken des Alpenkörpers ertrunkenes Talsystem erblickt, während *Buxtorf*[25]) zwischen beiden einen vermittelnden Standpunkt einnimmt*).

Da, wo sich das Reußtal teilt, mündet bei Brunnen das Muotatal ein. Wir sind damit aus dem eigent-

[25]) Erläuterungen zur geologischen Karte der Rigihochfluhkette. Beitr. geolog. Karte d. Schweiz. Basel 1916, S 64.

*) Ueber die Spiegelhöhe des Vierwaldstättersees und der übrigen Seen des Reußgebietes vergleiche S. 32, wo sich auch die Angaben über ihre Tiefen und Volumen finden.

lichen Hochalpengebiet ausgetreten, außer einigen Firnflecken an besonders geschützten Stellen weist das Muotatal keine eigentlichen Gletscher auf. Das Tal, das in die Kalke der helvetischen Decken eingeschnitten ist, umfaßt die ausgedehntesten Karrenfelder (Karren- und Silberenalp), und die oberirdisch abflußlosen Becken (Glattensee) des Reußgebietes. Oede, karstähnliche Hochflächen finden wir überall in den höheren Teilen des Tales, dessen zahlreiche Höhlen einen besonderen Anziehungspunkt bilden (Hölloch bei Muotatal). Auch hier treffen wir an den Uebergängen von einem Teilstück zum andern in die Stufen eingesägte Schluchten. In der untersten Talstrecke, in welche die Muota aus ihrer Schlucht in ein von ihr bei einem höhern Vierwaldstätterseestand aufgeschüttetes Delta übergeht[26]), empfängt sie aus dem alten Reußtal den Ausfluß des durch verschwemmtes Moränenmaterial abgedämmten Lauerzersees, dessen Zufluß, die Steineraa, das präglaciale Tal von Sattel-Rothenturm durchfließt. Die mächtige in den See vorgebaute Ebene von Brunnen-Schwyz legt Zeugnis ab für den großen Schuttransport der Muota. Hier finden sich, wie in der Ebene von Seedorf zahlreiche Grundwasseraufstöße.

Das Gersauerbecken ist wie der Urnersee ein Zungenbecken des Reußgletschers, dessen Endmoränen zwischen den beiden Nasen an der Grenze gegen das Weggiser Becken liegen. In der Terasse von Seelisberg sind Reste des alten Talbodens erhalten, wie auch bei Morschach und am Axenberg.

Es besitzt bis zu seinem untern Ende keine größern Zuflüsse, dagegen treffen wir auch über der linken Talseite oberirdisch abflußlose Becken (Seelisbergerseeli etc.), deren unterirdischer Abfluß, wie Färbversuche ergaben, unter dem Wasserspiegel in den Vierwaldstättersee gehen.

Am untern Beckenende mündet die Engelbergeraa. Ihr mächtiger Schuttkegel machte die Insel des Bürgenstocks zu einer angegliederten Halbinsel und unterbrach dadurch die Wasserverbindung des Gersauerbeckens mit der Alpnacherbucht. Auch hier treffen wir wieder den Stufenbau. Auf ein oberstes, vom Surenenpaß her steil abfallendes Talstück folgt der

[26]) J. Früh: Zur Morphologie von Brunnen-Schwyz. Ecl. IX. 1907, S. 403.

[27]) A. Heim: Geologie der Hochalpen zwischen Reuß und Rhein. Beitr. Geol. Karte 25, 1891.

breite Talboden von Engelberg, in dessen Umgebung zahlreiche Bergstürze liegen. Durch die enge Schlucht des Roßhimmels verläßt ihn der Bach und zwängt sich in die Ebene von Stans hinab, wo sein Bett, um bei der enormen Geschiebeführung Verwüstungen zu verhindern, kanalisiert ist. Der Talboden zwischen Stans und Buochs mit seinen ausgedehnten Sumpfflächen kann nur zur Streuegewinnung verwertet werden. Die Länge dieses Zuflusses beträgt 36 km, wovon im Unterlauf über 8 km verbaut sind.

Von der Rigi her münden aus der wasserundurchlässigen Nagelfluh nur kleinere Bäche in den See, die aber wegen ihres großen Gefälles viele Geschiebe transportieren. Ihre vor die Steilhänge gebauten Schuttkegel werden ebenso wie Bergsturzkegel zur Anlage der Siedlungen benutzt. (Gersau, Vitznau).

Verwickelte Verhältnisse treffen wir im letzten großen Seitental des Vierwaldstättersees, dem Tal der Sarneraa. Das Haupttal ist der verlassene Unterlauf einer alten Aare, die über den Brünig fließend über Stansstad-Küßnacht den Zugersee erreichte und dort mit dem alten Reußlauf zusammentraf. Ein Seitenarm des Aaregletschers floß während des Eiszeitalters durch das Tal, beim Zusammenstoß mit dem Reußgletscher den untern Vierwaldstättersee, den Kreuztrichter formend. In diesen alten Talstumpf münden von rechts die Täler der kleinen und großen Melchaa. Unter den auf der linken Talseite, in der so sehr wasserundurchlässigen Flyschzone entspringenden Zuflüssen sind besonders die beiden Schlieren durch ihren Geschiebetransport berüchtigt. Der oberste Teil des Haupttales wird eingenommen durch das oberirdisch abflußlose Brünigbecken, an das sich das Becken des Lungernsees anschließt, dessen Seespiegel 1836 durch den Bau eines Tunnels um ca. 35 m abgesenkt wurde[28]). Dadurch wurde eine kultivierbare Fläche von 170 ha gewonnen und die Oberfläche des Sees auf 0,877 qkm verkleinert*).

Unterhalb der abschließenden Stufe weitet sich das Tal zur kanalisierten Ebene von Rudenz, an die sich talabwärts der Sarnersee anschließt. Die Melchaa vereinigte sich früher erst unterhalb Sarnen mit dem

[28]) Ferd. Keller: Die Tieferlegung des Lungernsees im Kanton Unterwalden. Zürich 1836.

*) Neuerdings wurde der See durch den Bau eines Kraftwerkes wieder gestaut.

Seeausfluß und überflutete bei Hochwasser die ganze Talsohle, sie mit ihren Geschieben verwüstend. Seit 1880 durch einen Kanal dem See zugeführt, hat die Melchaa seither schon ein bedeutendes Delta aufgeschüttet. Ihr Unterlauf ist eine große Sumpffläche, nur unterbrochen durch den mächtigen Schuttkegel der großen Schlieren, die mit der Melchaa zusammen den ganzen Talboden verwüstete. Die Kleine Schlieren wurde, um ihren Geschiebetransport unschädlich zu machen, direkt dem Alpnachersee zugeleitet, der durch seine Zuflüsse immer mehr der Verlandung entgegen geht. Der Taltorso von Flühli-Ennetmoos stellt den früheren Talweg der Melchaa oder vielleicht sogar der Sarneraa dar, die hier gegen die Engelbergeraa zufloß, später aber durch einen Moränenwall aus der Richtung gegen Stans verdrängt, zur Bildung des Drachenriedes und des Rotzloches Anlaß gab.

Ueberblicken wir das Teilstück Flüelen-Luzern im Zusammenhang, so erkennt man einen im Gegensatz zum obern Reußtal bedeutend komplizierteren Bau, der mit aller Deutlichkeit in der Gestalt des Vierwaldstättersees zum Ausdruck kommt. Die Umrisse dieses malerischen Beckens werden aber nur durch das Zusammenwirken der den großen Talrinnen folgenden Gletscher verständlich, durch deren ausgestaltende Wirkung der ursprüngliche Reußlauf Flüelen-Brunnen-Arth-Goldau-Zugersee gegen Luzern abgelenkt wurde, wobei die großen Seitentäler der Engelberger- und Sarneraa zum Anschluß kamen.

Am untern Ende dieses ca. 40 km langen Sees, dessen Oberfläche 113,80 qkm und größte Tiefe im Gersauerbecken 214 m beträgt, liegt die größte Siedlung des Reußgebietes, Luzern. Es zählte 1920 mit Horw 45,971 Einwohner. Der mittlere jährliche Wasserbedarf dieser Stadt (inkl. Horw) beträgt nach einer freundlichen Mitteilung der Wasserversorgung der Stadt Luzern 4 500 000 cbm, wovon 92 % durch Quellwasser gedeckt, und nur 8 % dem Grundwasser entnommen werden.

Die ausgleichende Wirkung des Sees auf den Abflußvorgang wird durch ein Schleusensystem nahe dem Ausfluß der Reuß noch verstärkt.

Bei Luzern durchbricht die Reuß den Nordschenkel der ersten Molasseantiklinale, in einem kurzen 3 km langen Quertal, verläßt nach dem Durchbruch die ursprüngliche Laufrichtung und biegt in die Richtung des

subalpinen Streichens um, nimmt die Kleine Emme auf, die bei Wolhusen ebenfalls aus dem alten Tal abgelenkt wurde und früher dem Wiggertal zufloß.

III. Reußtal von der Einmündung der Kl. Emme bis zur Einmündung in die Aare.

Die Reuß fließt nach dem Durchbruche in einem breiten, mit alluvialen Schottern aufgefüllten Talboden. In der Gegend von Gisikon ändert sie ihre Laufrichtung neuerdings und biegt in ihr altes Stammtal ein, bei Maschwanden die Lorze als Tribut des alten Tal weges aufnehmend. Ausgedehnte Sumpfflächen erfüllen den Talboden an der Vereinigung der beiden Flüsse. Jene werden durch Kanalisation trocken gelegt, doch sind jetzt noch große Flächen nur zur Streuegewinnung verwendbar, mit Ausnahme einiger trockener mit Aeckern bedeckter Stellen. Das Ueberschwemmungsgebiet fluß abwärts ist gekennzeichnet durch die verschleppten Einmündungen der kleinern Seitenbäche. Unterhalb Lunkhofen tritt der Fluß in das Gebiet der Endmoränen des Reußgletschers der letzten Vergletscherung ein. Der bisher ziemlich gestreckte Lauf beginnt, tief eingesenkte Mäander zu bilden. Unterhalb Mellingen sind die Endmoränen der Würmvergletscherung in prächtigen, das Tal querenden Wällen erhalten. Vor ihnen haben die Schmelzwasser die weite schwachgeneigte Sandrfläche des Birrfeldes aufgeschüttet. Diese fluvioglacialen Schotter überdecken teilweise die Endmoränen des bis Birmenstorf reichenden Vorstoßes einer Phase der Würmvergletscherung. Nach dem Rückzug der Gletscher schnitt sich der Fluß in die Moränen und die vorgelagerten Schotter ein und fließt heute in einem ca. 30 m tiefen Tal, dagegen bildet er im Zungenbecken hinter den Moränen zahlreiche Mäander. Am schönsten bei Bremgarten, wo auch der Gefällsunterschied innerhalb der Schlinge zur Kraftgewinnung ausgenützt wird.

Treffen wir bei Mellingen im Flußbett wieder auf anstehenden Fels, auf untere Süßwassermolasse, so durchschneidet der Fluß mit der Annäherung an den Jura immer ältere Schichten bis zur Trias bei Birmenstorf.

Die Gesamtlänge der Reuß vom Lucendrogletscher bis zur Aare beläuft sich auf 159 km. Der Quellbach entspringt in einer Höhe von ca. 2400 m, die

Mündung liegt noch 333 m hoch. Der Höhenunterschied beträgt demnach rund 2100 m, was einem mittleren Gefälle von 13 ‰ entspricht; dabei entfallen allerdings auf das oberste Laufstück bis zum Vierwaldstättersee mit 49 km ungefähr 2000 m, während dem gesamten übrigen Lauf von 110 km nur noch 100 m zukommen, was einem Gefälle von 41 ‰ bezw. ca. 1 ‰ entspricht. Berücksichtigen wir die Länge des Vierwaldstättersees, so erhöht sich das Gefälle Luzern-Aare auf 1,4 ‰ bei einer Länge von 72 km.

Es erübrigt sich nun noch auf die Zuflüsse des Unterlaufes einzutreten.

Den ersten bedeutenden Zufluß der Reuß nach dem Eintritt in das Mittelland finden wir in der 58,4 km langen Kl. Emme. Am Brienzerrothorn entspringend, durchfließt sie in ihrem Oberlauf ein verhältnismäßig weites Tal, in dem die zahlreichen großen Bergstürze und Rutschungen der Gegend von Sörenberg bis Flühli das Landschaftsbild charakterisieren*).

Mit dem Gesteinswechsel, dem Eintritt in die Molasse, verengt sich unterhalb Flühli das Tal und die Kl. Emme durchbricht die aufgestauchte Nagelfluh in der 3 km langen Lammschlucht.

Aus dem früheren Haupttal, das im Eiszeitalter dem Flußgebiet der Großen Emme angegliedert wurde, empfängt der Fluß von der vermoorten Talwasserscheide bei Escholzmatt her als kümmerlichen Rest die Weißemme, die sich bei Schüpfheim mit dem Hauptfluß vereinigt.

Der bedeutendste Zufluß der Kl. Emme ist die am Feuerstein entspringende Entlen. In ihrem Mündungsgebiet haben neue geologische Untersuchungen[29]) Flußverlegungen während der Eiszeit nachgewiesen. Sie bildete in der Gegend von Entlebuch postglacial eine größere, nun wieder zerschnittene, Schotterstraße. Der für das Haupttal von Schüpfheim bis unterhalb Entle-

*) Der im Jahre 1910 bei Sörenberg niedergegangene Bergsturz bedingt eine Rückstauung der Hochwasser des Flusses, der hier neuerdings kanalisiert werden soll, um die Ueberschwemmungen zu verhüten. In gleicher Weise wurde schon die Laufstrecke unterhalb Flühli verbaut, um auch hier dem Hochwasser ein rasches Abfließen zu ermöglichen und Verwüstungen durch die Geschiebemengen zu vermeiden.

[29]) H. Mollet: Geologie der Schafmatt-Schymbergkette und ihrer Umgebung. Beiträge zur geol. Karte der Schweiz, Neue Folge XLVII, III. Abt. 1921.

buch charakteristische Schachen, in dem der Fluß heute fließt, findet sich auch im Mündungsgebiet der Entlen Als Tribut aus dem Napfgebiet empfängt die Kl. Emme die beiden Fontannen. An den Hängen des Haupttales, in das sich der Fluß im engen Kerbtal eingetieft hat, ziehen sich überall Moränen parallel zu ihm hin. Die Wechsellagerung von Mergel und Sandstein im Obwaldner Flysch bedingen auch im Entlebuch gleich wie im Einzugsgebiet der Schlieren zahlreiche Moorbildungen.

Bei Wolhusen ändert sich der Talcharakter völlig. Der Fluß verläßt sein altes Tal, das früher den Oberlauf des Wiggertales bildete und biegt in einem scharfen Knie nach Osten um, wie die Reuß selbst in das subalpine Streichen einlenkend. An Stelle des engen, canonartigen, in den alten Talboden eingetieften Talprofiles tritt von Malters an ein breites Sohlental mit sanftgeböschten Hängen, in das bei Emmenbrücke die Reuß mündet.

Erwähnenswert ist in diesem untersten Laufstück der Renggbach, der eigentlich dem Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees angehört, aber künstlich zur Emme abgeleitet[30]) wurde, um Luzern und Kriens vor seinen Ueberschwemmungen zu schützen.

Aus dem alten, verlassenen Haupttal empfängt die Reuß bei Maschwanden die Lorze, den Ausfluß des durch die Endmoränen eines Reußgletscherarmes abgedämmten Aegerisees, dessen Tal über den niederen Paß von Morgarten mit dem alten Stammtal in Verbindung steht. In dem tiefen, schluchtartig in die glacialen Kiese eingeschnittenen Lorzetobel fließt der Fluß gegen den Zugersee, bei Baar durch Moränen aus seiner ursprünglichen Laufrichtung abgelenkt.

Der Zugersee selbst füllt das alte Reußtal aus und empfängt von der Talwasserscheide von Arth-Goldau her nur kümmerliche Zuflüsse. Kaum 2 km westlich ihrer Einmündung verläßt die Lorze den See und durchfließt bis zur Mündung unterhalb Maschwanden in die Reuß, eine weite schwach geneigte Schotterebene. Die zahlreichen Quellen des Lorzetobels werden von der Wasserversorgung der Stadt Zürich gefaßt und damit der Reuß entzogen (ca. 4950 Min. Lit.[30]). Die Lauflänge beträgt vom Aegerisee bis zur Mündung in den Zuger-

[30]) Wasserverhältnisse der Schweiz. Reußgebiet von den Quellen bis zur Aare.
I. Teil: Die Flächeninhalte. Schweiz. Landeshydr. Bern 1903 Nachtrag 11. S. 4.

see 16 km, von da bis zur Einmündung in die Reuß 9 km, das Gefälle 19 ‰ und 3 ‰.

Als letzten größeren Zufluß empfängt die Reuß abwärts der Lorzemündung noch die Jonen, die am Ober-Albis entspringt und die Sümpfe von Hausen und Zwillikon entwässert. Nach anhaltenden Regengüssen kann dieser sonst recht ungefährliche Bach zu einem gefürchteten Wildwasser werden. Seine Mündung ist durch den Hauptfluß ca. 3 km flußabwärts verschleppt worden. Auf ihrem weitern Lauf strömen der Reuß nur noch unbedeutende Bäche zu. In dem engen Schlauch des untersten Laufes, wo das gesamte Einzugsgebiet nur aus dem eigentlichen Tal selbst besteht, ist kein Raum zur Entwicklung größerer Gerinne vorhanden.

C) Geologischer Bau und Bodenbeschaffenheit.

Bei der Beurteilung des Abflußvorganges in einem Flußgebiete ist die Frage nach der Wasserdurchlässigkeit des Bodens von besonderer Bedeutung. Der geologische Aufbau des Gebietes interessiert uns dabei nur soweit, als er direkt mit unserem Problem in Beziehung steht, das heißt nur da, wo die Gesteine nackt zu Tage treten und nicht durch Verwitterungsdecke und Vegetation dem direkten Eindringen des Wassers entzogen sind. In solchen Gebieten wird der geologische Bau nur soweit in Frage kommen, als er zum Verständnis der durch ihn bedingten Verwitterungsprodukte und deren Wasserdurchlässigkeit herangezogen werden muß. Leider besitzen wir noch keine Bodenkunde des Gebietes und auch noch keine Untersuchungen über das Verhalten der Verwitterungsböden der Gesteine gegenüber dem Wasser, daher kann eine Darstellung des Verhältnisses zwischen Bau und Entwässerung nur annähernd die Wirklichkeit wiedergeben.

Das Einzugsgebiet der Reuß ist beherrscht durch den Gegensatz der schwerdurchlässigen Urgesteine der Zentralmassive, der leicht durchlässigen Kalke der Sedimentdecken und des schwerdurchlässigen Flysches, der Zone der stark verkitteten, schwerdurchlässigen subalpinen Nagelfluh und der Molasse[31]).

[31]) Die Grundlage bilden in der Hauptsache die entsprechenden Kapitel aus: Alb. Heim: Geologie der Schweiz, Leipzig 1916—21.

In den, zwischen das Gotthard- und Aarmassiv eingeklemmten autochthonen, meist aus Kalken bestehenden Sedimenten hat sich der Oberlauf der Reuß entwickelt. Das Ueberwiegen der schwerdurchlässigen, kristallinen Gesteine der Massive gegenüber den spärlichen Sedimentresten läßt uns dieses oberste Teilstück im allgemeinen als undurchlässig betrachten. Die Moor- und Torfbildung, der wir allenthalben in kleinerem Ausmaße begegnen, bestätigt nur diese Auffassung.

Bei diesen Urgesteinen wäre streng genommen zwischen der Granitzone, die sehr schwer durchlässig ist und den weniger undurchlässigen Gneisen zu unterscheiden.

Bis unterhalb Erstfeld bleiben wir im Gebiete der Zentralmassive, in den schwerdurchlässigen Urgesteinen, in die das Göschenealptal eingeschnitten ist; doch schon in den höchsten Teilen des Meientales treffen wir auf Reste stark gefalteter, autochthoner Sedimente und die Nordflanke des Schächentales ist schon ganz in deren leichtdurchlässige Kalke eingeschnitten. Von besonderer Mächtigkeit sind die Malmkalke der Windgällenkette. Das Auftreten oberirdisch abflußloser Gebiete (Seewlisee) weist uns darauf hin, daß die Bodendurchlässigkeit durchaus anders geworden ist. Wieder andere Verhältnisse treffen wir in der teilweise in die Decken eingewickelten Flyschzone des untern Reußtales, die vom Surenpaß her bis zum Klausenpaß durch unser Gebiet streicht. Die Wechsellagerung von mergeligen und sandigen Schichten bringt gänzlich verschiedene Oberflächenformen hervor. Auf der Nordseite bei vorherrschenden, leicht verwitternden, schwerdurchlässigen Mergeln sanftgeböschte Matten, dagegen auf der Südseite bei vorherrschenden Sandsteinen (Altdorfer- und Taveillanazsandsteine) und dem Uebergreifen in die Kalke der autochthonen und parautochthonen Decken, steile Wände. Doch reichen auch die höchsten Teile des Nordhanges schon in die Sedimente der helvetischen Decken hinein.

Fassen wir das Einzugsgebiet der Reuß bis zum Vierwaldstättersee als Ganzes ins Auge, so finden wir keinen einheitlichen Aufbau nach der Wasserdurchlässigkeit der Gesteine. Schwerdurchlässige Zonen in den Massiven wechseln mit außerordentlich leicht durchlässigen Kalken in den Gebieten der autochthonen

Decken. Es ist deshalb schwer, dieses Gebiet durch einen einzigen Begriff zu kennzeichnen.

Mit dem Eintritt in das Gebiet des helvetischen Deckengebirges kommen wir bei dem Vorherrschen von Kreidekalken, gegenüber welchen, die schwerdurchlässigen mergeligen Schichtglieder stark zurücktreten, in das Gebiet größter Durchlässigkeit. Die wohlerhaltenen Steilwände des Urnersees[32]) und die ausgedehnten Karrenfelder des Riemenstalder- und Muotatales, im Verein mit den zahlreichen oberirdisch abflußlosen Becken links und rechts des Sees (Seelisbergersee, Glattensee im hintern Muotatal) geben davon sprechendes Zeugnis. Es kann keinen größeren Gegensatz geben, als den, zwischen den saftiggrünen Matten der Flyschzone des Schächentales und den öden, vegetationslosen Karsthochflächen der Karren- und Silberenalp im Muotatal[33]).

Treten wir aus dem Gebiet der helvetischen Decken hinaus in die Zone der subalpinen Nagelfluh, so treffen wir wieder ganz andere Verhältnisse. Das Gebiet der Rigi[34]) mit der stark verkitteten Nagelfluh ist wieder wenig wasserdurchlässig. Die Neigung zu Sumpfbildung, der wir allenthalben begegnen, weist darauf hin.

Betrachten wir die Seitentäler der Engelberger- und Sarneraa, so zeigen sich ähnliche verwickelte Verhältnisse wie im obern Reußgebiet, reiche Abwechslung von leicht- und schwerdurchlässigen Schichten. Im Engelbergertal finden wir in seinen obersten Teilen, am Surenenpaß, die Flyschzone, die wir schon im Schächental erwähnten. Der Hauptteil des Kessels von Engelberg jedoch liegt in den leichtdurchlässigen Jura- und Kreidekalken der helvetischen Decken, während im Gebiete der Klippen des Stanser- und Buochserhornes mitteldurchlässige Schichten dem schwerdurchlässigen Flysch aufgelagert sind. Zahlreiche Bergstürze verkleiden die Hänge, teilweise durch Rutschungen nach Rückzug der Gletscher bedingt.

Das Einzugsgebiet der Sarneraa zeigt auf der rechten Talseite die entsprechenden Verhältnisse wie das Engelbergertal. Leichtdurchlässige Kalke im Einzugsge-

[32]) P. Arbenz: Geolog. Untersuchung des Frohnalpstockes. Beitrg. N. F. XVIII.

[33]) Vergleiche am Schluß des Abschnittes die Angaben über oberirdisch abflußlose Becken.

[34]) A. Buxtorf: Begleitwort zur Rigihochfluhkarte.

biet der Melchaa und am Brünig geben zu den ausgedehnten unterirdisch entwässerten Becken Anlaß (Melchsee, Brünigbecken). Im unteren Teile liegen die mitteldurchlässigen Gebiete der Klippen des Stanserhorns und Arvigrates. Ganz verschieden davon die linke Talseite, die zum großen Teil in den schwerdurchlässigen Schlierenflysch eingeschnitten ist. Leichter durchlässige Kalke finden sich nur in den Klippen der Giswilerstöcke. Zahlreiche Moore überdecken das Schlierengebiet und ziehen sich über die Wasserscheide ins Entlebuch hinein.

Das Einzugsgebiet der Kl. Emme greift noch über in die eben geschilderte Flyschzone, während der Rest zum Teil in den vorwiegend leichtdurchlässigen Gesteinen der helvetischen Randketten (Schrattenfluh, Schymberg, Pilatus) und der schwerdurchlässigen Molasse und subalpinen Nagelfluh liegt.

Das Gebiet des Zuger- und Aegerisees gehört der gleichen Zone der Molasse- und Nagelfluh an, die wir auch im Entlebuch fanden. Die ausgedehnten Moore auf dem Zugerberg weisen auf die Undurchlässigkeit dieser Schichten hin.

Der Unterlauf der Reuß fällt in das stark mit Moränen überdeckte Molasseland. Die wechselnde Zusammensetzung jener aus Grund- und Oberflächenmoränen bedingt einen Wechsel von schwerer- und leichterdurchlässigen Gebieten. In ihrer Gesamtheit können wir sie als mitteldurchlässig bezeichnen.

Als Schluß dieser kurzen Uebersicht über die Wasserdurchlässigkeit, sei noch auf die im Reußgebiet vorkommenden, oberflächlich abflußlosen Becken verwiesen.

Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Zahlenwerte sind der Arbeit von *Lugeon* und *Jérémine* entnommen [35]).

Es entfallen nach Einzugsgebieten geordnet folgende Flächen auf das Reußgebiet:

1.	Reußtal bis Seedorf	4,405 qkm
2.	Muotatal	45,734 „
3.	Riemenstaldertal	5,350 „
4.	Umgebung von Selisberg	7,526 „
5.	Engelbergertal	1,685 „
6.	Tal der Sarneraa	18,514 „
7.	Tal der Kleinen Emme	4,280 „
	Total	87,494 qkm

[35]) M. Lugeon-E. Jérémine: Les bassins fermées des Alpes suisses. Bull. soc. vaud. sciences nat., Lausanne 1911.

„Die unterirdisch entwässerten Gebiete des Reußtales oberhalb des Vierwaldstättersees befinden sich an der Windgälle und am Hohen Faulen zwischen Maderaner- und Schächental.

Den größten Anteil an ihnen weist das Muotatal auf. Von einem Gesamtgebiet von 315,89 qkm sind 45,734 qkm = 14.5 % der gesamten Fläche oberirdisch abflußlos. Diese Flächen sind am stärksten verbreitet im Gebiet östlich des Bisistales, wo sie im Zusammenhange mit den ausgedehnten Karrenfeldern einen Begriff von der Durchlässigkeit der die Oberfläche bildenden Malm- und Kreidekalken geben.

Die ziemlich bedeutenden oberirdisch abflußlosen Gebiete des Tales der Sarneraa, 5,5 %, liegen in der Umgebung des Brünigs und des Melchsees. Die zusammen 4 qkm betragenden unterirdisch entwässerten Flächen des Entlebuchs verteilen sich auf das Brienzerrothorn und die Schrattenfluh.

Berechnen wir den Gesamtanteil dieser unterirdisch entwässerten Becken an der Fläche des Reußgebietes bis Mellingen, so erhalten wir den Betrag von 2,6 %.

D) Die Bodenbedeckung und die Gliederung nach Höhenstufen.

Da uns die Bodenbedeckung und die Verteilung der Höhen in unserm Gebiet nur soweit interessiert, als sie zu Vergleichszwecken der Einzugsgebiete der verwendbaren Pegelstationen nötig ist, so beschränken wir uns darauf, die Angaben für diese, nach den Berechnungen des Amtes für Wasserwirtschaft[36]), aufzuführen und von einer weitergehenden Gliederung abzusehen.

Zur Untersuchung der Abflußverhältnisse kommen später zur Verwendung die Stationen:

1. Reuß: Andermatt
2. „ Seedorf
3. „ Mellingen
4. Engelbergeraa: Büren
5. Sarneraa: Sarnen
6. Kleine Emme: Werthenstein.

[36]) Wasserverhältnisse der Schweiz. Reußgebiet von der Quelle bis zur Aare.
I. Teil: Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete, der Höhenstufen von 300—300 m, der Felshänge, Wälder, Gletscher und Seen. Bern 1903.

Für die Einzugsgebiete dieser Flußabschnitte folgen dann die entsprechenden Angaben. Die erste Tabelle enthält die Verteilung der Fläche nach Höhenstufen, während die zweite nach der Bodenbedeckung gliedert; dabei ist der Flächeninhalt ausgeschieden nach qkm und $^0/_{00}$ der Gesamtfläche der Einzugsgebiete.

Da nach den Untersuchungen der Eidgen. Forstlichen Versuchsanstalt[37]) dem Walde eine große Bedeutung in Bezug auf den Verlauf des Abflußvorganges, nicht aber auf das Ausmaß zukommt — im Jahresmittel führten die beiden Untersuchungsgebiete, im obern Emmental der nur zu $^1/_3$ bewaldete Rappengraben und der ganz bewaldete Sperbelgraben gleichviel Wasser ab — so überblicken wir die Zahlen über das Waldareal gesondert. Der Anteil des Waldes an der Bodenbedeckung erreicht nirgends $^1/_3$ der Fläche, Sarnen (311 $^0/_{00}$) besitzt den größten Anteil, alle übrigen weisen weniger Waldareal auf, daraus läßt sich schließen, daß ihm nirgends ein größerer Einfluß zuzuerkennen ist. Das Versuchsgebiet des Rappengrabens, das als Vergleichsobjekt mit bewaldeten Gebieten gewählt wurde, besitzt noch größere Waldflächen als irgend ein Abschnitt des Reußgebietes. Dazu müssen wir in unserm Untersuchungsgebiet die höchstgelegenen Teile mit ihrer Gletscher- und Firnbedeckung als maßgebend für die Abflußverhältnisse anerkennen (vergl. Schlußabschnitt). Daher dürfte der im Alpengebiet auf die tiefern Talhänge beschränkte Wald in seinem Einfluß wenigstens hier vernachlässigt werden können. Einen größeren Einfluß könnte er allenfalls im Entlebuch ausüben, das der Gletscherbedeckung entbehrt. Das Ausmaß der sommerlichen Niederwasser zeigt aber auch hier, daß sein Einfluß sehr gering anzuschlagen ist. Oertlich wird er sich bei der Lieferungsfähigkeit der Quellen wohl im günstigen Sinne bemerkbar machen. Betrachtet man aber das Entlebuch als Ganzes, so verschwindet sein Einfluß gegenüber dem Vorwiegen der unbewaldeten Teile. Die Raschheit des Auftretens von Hochwassern im Entlebuch beweist, wie wenig ausgleichend er zu wirken vermag.

Ist der prozentuale Anteil der Gletscher- und Firnareale geringer als der Wälder, so ist der Einfluß

[37]) A. Engler: Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer Mitlg. der Zentralanst. f. forstl. Versuchswesen B. 12, Zürich 1919. Schlußabschnitt.

jener doch ungleich höher anzuschlagen. Im Schlußabschnitt finden sich die Zahlen zusammengestellt, die beweisen, welche ungeheure Wirkung die Schmelzwasser dieses Gebietes im Verlaufe von Trockenperioden ausüben können. Wirken demnach die Gletscher in günstigem Sinne auf den Abflußvorgang ein, so gilt teilweise das Umgekehrte von den Seeflächen, deren Areale zusammen einen etwas größeren Betrag ausmachen als die Gletscherflächen. Allerdings sind die Seebecken durch ihre ausgleichende Wirkung auf den Verlauf des Abflußvorganges wirtschaftlich von Bedeutung, so entziehen sie doch durch die größere Verdunstung an ihrer Oberfläche dem Wasserhaushalt bedeutende Mengen (vergl. S.).

Die Angaben über die Bodenbedeckung der Restgebiete fassen so viele ungleich wirkende Faktoren zusammen, daß den aufgeführten Zahlen keine weiteren Aufschlüsse entnommen werden können.

Wegen der besonderen Bedeutung der Seen als Regulatoren des Abflusses fügen wir noch die Angaben über die Areale der bedeutenderen Becken bei, samt der Höhe der Oberfläche, der größten Tiefe und ihrem Volumen, soweit uns die Angaben zur Verfügung stehen [38]). (S. 30).

	Meereshöhe m	Fläche qkm	Größte Tiefe m	Mittlere Tiefe m	Volumen km³
1. Vierwaldstättersee	437	115,80	214	104	11,8
2. Zugersee	417	38,24	198	84	3,2
3. Sarnersee	473	7,73	52,4	31,9	0,244
4. Aegerisee	728	7,24	82,7	49,3	0,357
5. Lauerzersee	451	3,09	13,2	7,0	0,022
6. Lungernsee	657	0,88	32,9	17,0	0,0146

Bei der Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse hat sich herausgestellt. daß bei einer Meereshöhe von 1000 m rund 50 %, und bei einer solchen von 2400 m rund 75 % der gesamten Niederschlagsmenge durchschnittlich in fester Form fällt. Es wird deshalb auch von Interesse sein, die Areale nach diesen Höhen zu gruppieren. Aus der Tabelle No. 1 erhält man:

[38]) Die Schweiz: Neuenburg 1909, S. 117—121 (Tabelle nach W. Halbfaß).

	Gesamtfläche	Ueber 1800 m	Ueber 2400 m
Reuss: Andermatt	183,97 qkm	162,67 qkm 883 ‰	77,36 qkm 420 ‰
„ Seedorf	832,43 „	549,19 661	240,88 290
„ Mellingen	3382,28 „	821,52 243	280,21 83
Engelbergeraa	226,75 „	86,61 382	24,55 108
Sarneraa	337,85 „	43,27 127	1,49 3
Kleine Emme	476,93 „	14,46 30	— —

Wir werden auf diese Zahlen beim Abschnitt über den Anteil des Schnees am Niederschlag zurückkommen und verweisen hier auf diese späteren Ausführungen.

Tabelle No. 1. *Gliederung der Untersuchungsgebiete nach Höhenstufen*

in qkm und ‰ der Gesamtflächen.

Teilgebiet / Höhenstufe	Reuß bis Pegelstation Andermatt	Reuß bis Vierwaldstättersee	Reuß bis Pegelstation Mellingen	Engelbergeraa bis Vierwaldstättersee	Sarneraa bis Vierwaldstättersee	Kleine Emme bis zur Reuß
300— 600 m	—	18,59 22	849,19 251	10,19 45	47,24 140	29,86 62
600— 900	—	25,97 31	504,88 149	17,76 78	52,52 155	154,42 324
900—1200	—	46,96 56	436,41 129	32,51 144	55,48 164	147,14 309
1200—1500	2,68 15	76,73 92	406,91 120	39,52 174	75,27 223	84,29 177
1500—1800	18,72 102	114,98 138	363,37 108	40,16 177	64,38 191	46,76 98
1800—2100	31,68 172	142,36 171	301,91 89	34,32 152	32,64 97	13,70 29
2100—2400	53,53 291	165,96 200	239,40 71	27,74 122	9,14 27	0,76 1
2400—2700	53,84 293	145,65 175	175,97 52	17,27 76	1,48 3	—
2700—3000	20,67 112	78,07 94	86,35 26	6.56 29	0,01 0	—
über 3000	2,85 15	17,16 21	17,89 5	0,72 3	—	—
Total	183,97	832,43	3382,28	226,75	337,85	476,93

Tabelle No. 2. *Gliederung der Untersuchungsgebiete nach der Bodenbedeckung*

in qkm und ‰ der Gesamtfläche.

Art der Bodendeckung	Reuß bis Pegelstation Andermatt	Reuß bis Vierwaldstättersee	Reuß bis Pegelstation Mellingen	Engelbergeraa bis Vierwaldstättersee	Sarneraa bis Vierwaldstättersee	Kleine Emme bis zur Reuß
Felsen u. Schutthalden	66,64 362	295,69 355	544,34 161	54,95 242	29,47 87	25,23 53
Wälder	1.71 9	71,59 86	676,72 200	37,41 165	104,90 311	132,08 277
Firn u. Gletscher	23,57 128	112,60 135	133,81 40	13,79 61	—	—
Seen	0,52 3	0,96 1	173.87 51	0,19 1	8,95 26	0,10 0
Uebrige Gebiete	91.53 498	351,60 423	1853,55 548	120.42 531	194,53 576	319,52 670
Total	183,97	832,43	33382,28	226,75	337,85	476,93

3. Temperaturverhältnisse und Windverteilung.

A) Temperatur.

Wie die Untersuchungen darlegen werden, können wir uns nicht darauf beschränken, Niederschlag und Abfluß allein zueinander in Beziehung zu bringen, ohne die übrigen klimatischen Faktoren zum Vergleich heranzuziehen. Am wichtigsten davon werden für unser Problem sein: die Lufttemperatur und die Luftbewegung, daneben sollten — streng genommen — auch Bewölkung und Luftfeuchtigkeit in den Kreis der Betrachtungen einbezogen werden, denn auch sie werden ihren Einfluß auf die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß geltend machen.

Um die Temperaturverhältnisse unseres Gebietes zu charakterisieren, bedienen wir uns der Zahlenwerte, die im „Klima der Schweiz“ [39]) dafür in Betracht kommen, und fügen ihnen die Werte einiger ausgewählter Stationen für die Dauer der Untersuchungsperiode bei, die in den spätern Untersuchungen Verwendung gefunden haben.

[39]) Maurer, J. Billwiller, R. Heß, Cl.: Das Klima der Schweiz. Frauenfeld 1909, Bd. II, Klimatabellen.

Bei der reichen vertikalen Gliederung unseres Gebietes wird es von vornherein klar sein, daß auch da Einzelgebiete mit besonderen Eigentümlichkeiten hervortreten werden. Im obern Reußtal, wie in den übrigen Alpentälern, wird sich besonders der Einfluß des Föhnes geltend machen.

In Tabelle No. 3 sind die in Betracht kommenden Angaben zusammengestellt,

Tabelle No. 3.

Mittlere Lufttemperaturen.

Station	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
Muri	-1.9	0.5	3 6	8.5	12.4	16.1	18.0	17.0	14.0	8.2	3.3	-1.0	8.2
Luzern	-1.3	0.7	3.7	8.6	12.7	16.4	18.3	17.1	14.1	8.4	3.7	-0.4	8.5
Schwyz	-1.2	0.9	3 5	8.2	12 0	15.4	17 4	16 5	13.8	8.4	3.8	-0.4	8.2
Gersau	0.2	1.9	4.4	9.1	13.0	16.5	18.3	17.6	14.8	9.5	4.9	1 1	9.3
Sarnen	-1.7	0 2	3.3	8.4	12 4	16.1	18.1	16.9	13.8	8.1	3.4	-0.9	8.2
Engelberg	-3.9	-1.9	0.3	4.8	8.9	12.4	14.2	13.3	10.7	5.5	0.8	-3 1	5.2
Rigikulm	-4.5	-4.0	-3.4	0.2	3.9	7.5	9.9	9.4	7.5	2.7	-0.8	-3.9	2 0
Pilatus	-6.2	-5.7	-5.5	-2.0	1.7	5.3	8.1	7.9	6.3	1.3	-2.3	-5.4	0.3
Altdorf	0.1	2.0	4.8	9.3	13.0	16.2	18.0	17.3	14.6	9.5	4.9	0 8	9.2
Göschenen	-2.1	-0.7	0.8	5.0	8.9	12.7	14.6	13.8	11.5	6.5	2.7	-1.3	6.0
Andermatt	-6.7	-4.7	-2 2	2.0	6.1	9.7	11.8	11.0	8,5	3 6	-1 2	-5.7	2.7
St.Gotthard	-7.7	-7.1	-6.2	-2.4	1.3	4.9	7.9	7.6	5.2	0.2	-4.1	-7.1	-0.6

Die herausgegriffenen Zahlen zeigen mit aller Deutlichkeit, wie hoch wir den Einfluß des Föhnes zu veranschlagen haben. Altdorf besitzt trotz seiner Lage im Gebirge eine Januartemperatur die volle 2° höher ist als die für Muri im offenen Mittelland. Gersau, dessen Lage im Windschutz gegen die rauhen Nord- und Ostwinde besonders günstig ist, zeigt die höchsten Wintertemperaturen des Gebietes. Auch Vitznau und Weggis in den vordern Teilen des Vierwaldstättersees verspüren noch den erwärmenden Einfluß des Föhnes. Talaufwärts läßt sich dieser bis nach Wassen hinaut verfolgen. Die übrigen Stationen sind allerdings zu hoch gelegen, als daß dieser Fallwind, der sich selbst erst beim Herabstürzen in die tiefen Täler erwärmt, die Temperaturen der höhern Teile schon zu beeinflussen vermöchte. Andermatt zeigt die gegenteilige Ausnahme; tiefere Temperaturen als die höher gelegene Station auf der Rigi. Die Abgeschlossenheit des Hochtales, die ein Ansammeln der kalten Luftmassen im Tal-

kessel begünstigt und einen raschen Austausch verhindert, kommt darin zum Ausdruck.

Stellen wir noch die Zahlen über Frost- und Föhnhäufigkeit zusammen, so erhalten wir:

Mittlere Zahl der Frosttage. (1881—1900[40]).

Muri	483 m	84,3 Tage
Luzern	453 „	80,2 „
Altdorf	456 „	61,4 „
Gersau	442 „	56,6 „
Engelberg	1018 „	127,8 „
Andermatt	1450 „	173,5 „

Wieder zeigt sich die Bevorzugung der Föhnorte gegenüber den übrigen Teilen.

Ueber das Vorkommen des Föhnes orientieren die folgenden Zahlen:

Mittlere Zahl der Föhntage für Altdorf. (1864—1900[40]).

J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
3.5	3.6	5.6	5.9	5.8	3.4	2.3	2.2	3.0	4.7	4.1	3.9	48.0

verteilt auf die Jahreszeiten ergibt sich daraus:

Frühjahr: 17.3 Sommer: 7.9 Herbst: 11.8 Winter: 11.0.

Die größte Häufigkeit im Frühling wird von besonderem Einfluß auf die Raschheit der Schneeschmelze sein.

Die Wirkung des Föhns läßt sich am besten veranschaulichen, wenn wir für einen bestimmten Fall die Temperaturwerte für Altdorf, die unter seiner Wirkung aufgetreten sind und die Abweichungen von den Normalwerten herausgreifen.

		7 a. m.	1 p. m.	9 p. m.		
1900 Januar	2.	16.7	18.1	17.9	+17.5	Abweichung vom Nor-
	3.	17.3	17.7	9 3	+14.7	malstand

Die Abweichungen von 17.5 und 14.7 vom Normalstand legen Zeugnis ab von der enormen Temperatur-

[40]) Maurer etc.: Klima etc., Bd. I., S. 28.

erhöhung durch den Föhn. Die Einwirkung auf die Schneeschmelze läßt sich daraus entnehmen.

Die im Winter auftretende Bevorzugung der Höhenlagen infolge der Temperaturumkehr ist in ihrer Wirkung so gering, daß von keinem nennenswerten Einfluß auf die Abflußverhältnisse gesprochen werden kann, da die mittleren Tagestemperaturen gewöhnlich noch unter 0° bleiben. Doch ist es auch der mittägigen Schmelzperiode zu danken, daß aus dem Hochgebirge selbst in der Zeit andauernden Frostes kleine Schmelzwassermengen abgehen.

Entnehmen wir der Tabelle No. 3 durch Interpolation die angenäherte Meereshöhe der 0° Isotherme der mittleren Monatstemperaturen, so erhalten wir für die einzelnen Monate die folgenden Werte: Um diese Zahlen etwas anschaulicher zu machen, sind die Flächeninhalte der Gebiete über dieser Isotherme in % der Gesamtfläche des Reußgebietes beigegeben.

Monat	Meereshöhe der 0° Isotherme	% der Fläche des Reußgebietes über dieser Höhe
Januar	ca. 450 m	ca. 100 % mit Ausnahme der Föhnorte
Februar	„ 600 „	74 %
März	„ 1200 „	46 %
April	„ 1800 „	24 %
Mai	„ 2280 „	11 %
Juni	„ 2700 „	3 %
Juli	über 3000 „	weniger als 0.5 %
August	„ 3000 „	„ „ 0.5 %
September	ca. 2700 „	3 %
Oktober	„ 2150 „	14 %
November	„ 1400 „	39 %
Dezember	unter 450 „	ca. 100 % mit Ausnahme der Föhnorte.

Wir werden im 2. Teil der Arbeit (vergl. S. 74) bei den Untersuchungen über den Anteil des Schnees am Niederschlag diese Zahlen nutzbringend verwenden können, begnügen uns hier mit ihrer Erwähnung und verweisen im übrigen auf die späteren Ausführungen.

Da in den anschließenden Untersuchungen auch die Temperaturverhältnisse beim Vergleich von Niederschlag und Abfluß herangezogen wurden, so fügen wir in

Tabelle No. 4 die Monatsmittel einiger ausgewählter Stationen bei.

Tabelle No. 4.

Mittlere Monatstemperaturen der Hydrologischen Jahre 1914/15–1918/19

	O.	N.	D.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.
Andermatt 1450 m												
1914/15	4.0	-1.6	-1.9	-5.9	-4.7	-2.3	1.2	8.9	11.9	10.9	10.1	6.7
15/16	1.8	-2.9	0.7	-5.2	-3.4	-0.3	2.2	7.3	7.9	10.8	10.6	6.4
16/17	4.0	-0.8	-2.1	-7.3	-6.6	-3.3	-1.3	8.8	11.9	11.3	10.0	10.5
17/18	0.5	3.7	-7.4	-4.8	-5.3	-2.3	2.1	7.7	7.5	11.3	10.5	8.9
18/19	2.4	-0.5	-4.4	-7.4	-5.9	-1.5	0.2	5.1	9.5	8.4	12.6	10.2
Altdorf 456 m												
1914/15	9.3	4.5	4.3	1.0	1.9	3.5	7.9	15.4	18.2	16.7	15.8	12.2
15/16	7.1	2.3	5.0	2.2	3.7	6.3	8.9	14.1	13.8	16.6	16.6	12.0
16/17	9.0	5.7	3.0	-0.6	-1.0	3.4	5.6	16.5	17.9	17.3	16.6	15.3
17/18	7.2	3.1	-1.8	1.1	0.8	5.2	10.0	14.2	13.8	17.7	16.6	13.8
18/19	7.9	5.1	3.0	1.3	0.5	5.3	5.7	12.1	16.1	14.7	18.5	15.5
Sarnen 487 m												
1914/15	8.5	2.8	2.2	0.2	0.1	3.0	6.7	14.8	18.0	16.9	16.0	11.9
15/16	6.7	1.7	3.6	2.3	2.0	4.3	8.1	13.7	13.7	16.9	16.5	11.7
16/17	8.3	3.9	1.5	-1.7	-1.8	2.1	5.0	15.7	18.2	17.5	16.7	15.5
17/18	7.3	3.1	-3.7	-1.2	-0.1	3.7	8.4	14.4	13.9	17.9	16.9	13.5
18/19	7.6	3.8	3.0	0.8	-0.8	4.0	5.6	12.3	16.5	14.9	18.7	15.3
Luzern 453 m												
1914/15	8.6	3.2	2.6	0.5	0.8	3.1	7.1	15.1	18.3	17.2	16.2	12.0
15/16	6.9	1.9	3.6	3.2	2.4	4.6	8.6	13.7	13.9	17.2	17.0	12.0
16/17	8.9	4.2	1.6	-1.5	-1.6	2.1	5.4	16.3	18.9	17.8	17.0	16.0
17/18	7.7	4.0	3.6	-0.9	0.6	4.3	8.7	14.8	14.2	18.3	17.4	13.9
18/19	7.6	3.8	3.6	0.8	-0.3	4.4	5.6	12.7	16.6	15.1	19.2	16.2
Muri 483 m												
1914/15	8.1	2.7	2.5	0.2	0.4	2.8	7.0	14.6	17.5	16.2	15.4	11.5
15/16	6.5	1.3	4.1	3.0	1.7	4.4	8.1	13.2	13.0	16.4	16.1	11.5
16/17	8.3	3.7	1.5	-2.1	-2.6	1.7	4.7	15.3	17.8	16.9	16.1	15.3
17/18	7.2	3.9	-4.7	-1.0	0.4	4.1	8.1	14.1	13.3	17.3	16.5	13.2
18/19	7.1	3.2	3.2	0.1	-0.7	4.0	5.2	12.5	16.1	14.6	18.5	15.7

B) Die Windverteilung.

Werfen wir nun noch einen Blick auf die Windverhältnisse in unserm Gebiet, dabei müssen wir uns bewußt bleiben, daß bei der Lage der meisten Beobachtungsstationen im Talboden nicht die wirklich herrschenden Windströmungen beobachtet werden können, sondern diese durch die lokalen Verhältnisse beeinflußt sind.

Tabelle No. 5.

Windverteilung[41]).

	N.	N.-O.	O.	S.-O.	S.	S.-W.	W.	N.-W.	Kalm.
Muri	55.7	108.9	41.7	41.9	19.9	61.5	133.1	72.5	561.1
Luzern	51.3	44.6	32.5	98.5	34.6	89.4	25.8	24.2	694.7
Gersau	0.5	0.8	2.7	11.8	2.7	14.5	13.1	8.1	1042.0
Altdorf	9.5	3.5	0.5	21.0	70.3	13.0	72.9	64.8	838.8
Göschenen	330.1	14.6	2.1	8.0	381.3	48.3	12.0	12.8	285.9
St. Gotthard	477.3	10.7	1.0	57.4	254.5	4.8	2.9	11.5	276.4
Sarnen	9.6	351.3	3.1	16.1	16.1	147.6	0.6	4.4	545.6
Engelberg	2.6	10.4	11.0	41.9	7.6	84.1	108.6	16.2	813.4
Rigi	6.6	63.2	75.4	159.8	83.4	171.9	195.6	200.2	134.0

Rigi-Kulm, als frei gelegene Gipfelstation, den lokalen Einflüssen am meisten entrückt, zeigt das für unsere Breiten charakteristische Vorherrschen der S.-W.-, W.- und N.-W.-Winde, gegenüber denen alle übrigen stark zurücktreten. Auch Muri und Luzern, Stationen, die im Mittelland noch relativ frei gelegen sind, ergeben das gleiche Bild.

Alle übrigen Stationen veranschaulichen die lokale Beeinflussung mehr oder weniger stark. Gersau, auf dessen windgeschützte Lage schon aufmerksam gemacht wurde, zeigt die größte Zahl der Kalmen. In Altdorf macht sich schon die durch den Föhn bedingte starke Zunahme der S.-Winde bemerkbar. Göschenen weist mit seinen hohen Zahlen für die Nord- und Südwinde, in Verbindung mit der geringen Zahl der Kalmen, die größte lokale Beeinflussung auf. Entsprechend der N.-S.-Linie des Reußtals kommen darin die lokalen Einflüsse des tagsüber aufsteigenden Tal- und in der Nacht herabsteigenden Bergwindes zum Ausdruck.

Ebenso kommt bei St. Gotthard die Paßlage der Station zur Geltung.

[41]) Maurer etc.: Klima, Bd. II. Klimatabellen.

Sarnen zeigt das gleiche Bild. Auch hier Vorherrschen der Winde in der Talrichtung NE.-S.-W. Diese Andeutungen mögen genügen, um zu zeigen, wie die Windverteilung auch hier wesentlich durch das Relief bedingt erscheint.

Ueber die Windgeschwindigkeiten, die von wesentlichem Einfluß auf das Ergebnis der Niederschlagsmessungen sein werden, orientieren die folgenden Angaben:

Nach *J. Maurer*[42]) betragen die Windgeschwindigkeiten in den tiefen und mittleren Lagen des Alpenvorlandes im Mittel wenig mehr 2 m/sec. Die Registrierungen auf dem Säntisgipfel[43]) ergaben für die einzelnen Monate folgende Mittelwerte:

Monatsmittel der Windgeschwindigkeit auf dem Säntisgipfel. (2504 m)

in m/sec. (1891—1900).

J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
7.8	8.0	7.9	5.7	5.6	6.5	7.2	7.2	7.3	8.1	7.4	8.0	7.23

Die Bedeutung des Windschutzes tritt durch diese Zahlen klar zu Tage.

Die maximalen Geschwindigkeiten herrschen in den Wintermonaten, während welchen die Niederschläge vorwiegend als Schnee fallen, für den ein Vorbeiwehen am Meßinstrument besonders häufig in Frage kommt. Die in den spätern Abschnitten (vergl. S. 68) zusammengestellten Zahlen zeigen dementsprechend eine starke Vermehrung der Winterniederschläge bei Anwendung eines Windschutzes. Aus den Beobachtungen auf dem Gotthardhospiz[44]) an zwei nebeneinander aufgestellten Ombrometern, wovon der eine mit einem abgeänderten Nipher'schen Trichter versehen war, ergaben sich folgende Verhältniszahlen für die aufgespeicherte Menge des gewöhnlichen Regenmessers zur Menge des geschützten Regenmessers:

[42]) Schweiz. Bauzeitung. April 1915, S. 195.

[43]) Maurer, J.: Klima der Schweiz. Bd. I, S. 200.

[44]) Vergl. R. Billwiller: Ein neues Modell eines geschützten Regenmessers. (Abgeänderter Nipher'scher Trichter). Meteorolog. Ztschr. 1910, S. 193.

(Der Standort der Instrumente befindet sich auf der Südseite des Hospizes, im Windschatten der besonders heftigen und häufigen Nordwinde, deshalb die Abweichungen für die beiden Hauptwindrichtungen.

1908/1909.

Schneefall bei südl. Winden bis und mit Stärke 2 der halben Beaufortskala	0.81
Schneefall bei südl. Winden über Stärke 2 der halben Beaufortskala	0.67
Schneefall bei nördl. Winden bis und mit Stärke 2 der halben Beaufortskala	0.92
Schneefall bei nördl. Winden über Stärke 2 der halben Beaufortskala	0.79

Die Zahlen belegen mit aller Deutlichkeit den Einfluß der Winde auf die Messungsresultate unserer Regenmeßstationen, die zum größten Teil mit Instrumenten ohne Windschutz ausgerüstet sind. Bei der Aufstellung der Totalisatoren wurde auf diese Tatsache Rücksicht genommen und die Instrumente mit einem Windschutz versehen,

Der Wind wird auch noch in anderer Art seinen Einfluß geltend machen, auf die hingedeutet werden muß, ohne daß wir mangels Beobachtungen zahlenmäßige Belege dafür geben können. Bei der Bildung von überhängenden Gwächten an den Kämmen oder überhaupt bei Schneetreiben wird immer mit der Möglichkeit zu rechnen sein, daß entweder dem Untersuchungsgebiet, je nach der Lage zu den häufigsten Winden, Schneemengen lokal zugeführt oder entführt werden, die unsere Meßinstrumente gar nicht aufzeichnen. Es wird deshalb immer eine Speisung der Firnfelder der Leeseite mit den Niederschlägen der Luvseite möglich sein, über deren Größe wir keine Angaben zu machen vermögen und welche die Aufspeicherung des Niederschlages beeinflussen können.

Zweiter Teil.

Die Niederschlagsverhältnisse des Reußgebietes.

I. Das Beobachtungsmaterial.

Die Grundlage für die Darstellung der Niederschlagsverhältnisse des Einzugsgebietes der Reuß und der Bestimmung der Menge der in ihm gefallenen athmosphärischen Niederschläge bilden die:

„Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen- und Regenmeßstationen in der Schweiz" und die „Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt."

Beide Publikationen gelangen jährlich durch die Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt in Zürich zur Veröffentlichung.

Im Untersuchungsgebiete befinden sich 35 meteorologische und Regenmeßstationen, deren Ergebnisse durch Hinzuziehung von weiteren 27 Stationen der angrenzenden Gebiete ergänzt wurden. Die Verteilung dieser Stationen und ihre Meereshöhe sind aus den beigefügten Karten und Tabellen ersichtlich.

Das Netz der Stationen ist naturgemäß im Mittelland und in den Voralpen dichter als im Hochalpengebiet, dazu charakterisieren die Stationen des Mittellandes mit ihren gleichförmigeren orographischen Verhältnissen ihre Umgebung einwandfreier als diejenigen im Alpengebiet, wo die gemessenen Werte streng genommen nur für die nächste Umgebung Gültigkeit haben, oft nur für einen Berghang, während am gegenüberliegenden oft schon ganz andere Verhältnisse herrschen. Die vorwiegend in Haupttälern gelegenen Alpenstationen haben seit 1911 eine wesentliche Ergänzung durch Stationen in den Seitentälern erhalten. Seit 1913 sind auch in der

Nähe des Untersuchungsgebietes teilweise von der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, teilweise vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft Totalisatoren aufgestellt worden, bis jetzt die einzige praktische Möglichkeit, zu zuverlässigen Ueberschlagswerten für die Niederschlagsmengen des Hochgebirges zu kommen.

Es sind die folgenden Totalisatoren*):

1.	Claridenfirn	2710 m	seit 1915
2.	Rhonegletscher, Scheidfluh	2800 m	„ 1913
3.	Fibbia	2740 m	„ 1915
4.	Grimsel	1820 m	„ 1914

Die Ergebnisse dieser Niederschlagssammler ergaben wertvolle Ergänzungen der Angaben der übrigen Stationen. Für eingehendere Auskunft über die Totalisatoren sei auf die Annalen verwiesen und auf die übrigen, im Literaturverzeichnis aufgeführten Publikationen[45] [46]), wo auch Einwände gegen die Richtigkeit ihrer Ergebnisse eingehend diskutiert werden.

Eine wesentliche Förderung der Genauigkeit der Darstellung erfuhr die Arbeit durch Ueberlassung von bisher unveröffentlichten Angaben über die Messungsergebnisse mit windgeschützten Niederschlagsmessern seitens der Meteorolog. Zentralanstalt. Es betrifft dies die Stationen Rigi und St. Gotthard, auf denen seit 1908 neben dem gewöhnlichen *Hellmann*'schen Modell auch eines mit abgeändertem Nyphertrichter täglich gemessen wird. Die ersten Ergebnisse dieser Vergleichsbeobachtungen sind in einer Arbeit von *R. Billwiller jun.* enthalten[47]). Seit 1918 wurden für diese Stationen die Resultate des Apparates mit Windschutz veröffentlicht. Herr Dr. *Billwiller* hatte die Freundlichkeit, mir für die Station Rigi die von ihm aus den Originaltabellen ausgezogenen Werte zu überlassen, während für die Station St. Gotthard diese Arbeit von mir selbst besorgt

*) Im Sommer 1918 wurden zum speziellen Studium der Niederschlagsverhältnisse des Rhonegletschers außer dem seit 1914 in Betrieb stehenden Totalisator auf der Scheidfluh noch weitere 5 Apparate aufgestellt. Der höchstgelegene von ihnen befindet sich auf der Triftlimmi in einer Meereshöhe von 3130 m.

[45]) J. Maurer-Collet L.: Die Niederschlagsmessung im Hochgebirge. Schweiz. Wasserwirtschaft Jhrg. 7. 1915.

[46]) Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Jhrg. 1913—19.

wurde. Da das, von der Meteorolog. Zentralanstalt eingeführte Instrument, spez. Gründe wegen[47]), ohne Verdunstungsschutz ist, so können in den Sommermonaten die Resultate des alten *Hellmann*'schen Modells größer sein, als die des neuen. Dem Vorgange von Dr. *Billwiller* folgend ist in diesen Fällen jeweils der größere Wert genommen worden. Es ist im Folgenden nicht beabsichtigt, die Resultate der beiden Modelle, nach Einfluß des Windes, Regens oder Schnees zu untersuchen, sondern wir beschränken uns darauf, die neuen Werte für unsere Untersuchung zu benützen.

2. *Die Verarbeitungsmethode.*

A. Allgemeines.

Der Hauptzweck der Untersuchung war die Bestimmung der im Reußgebiete pro Jahr gefallenen Niederschlagsmengen, und zwar nicht für das Kalenderjahr, sondern um die Vergleichbarkeit mit den Abflußmengen zu erhöhen, wurde das hydrologische Jahr vom 1. Oktober bis 30. September zu Grunde gelegt. Wird dadurch noch keineswegs der Vergleich streng zusammengehörender Werte erreicht, so ist doch damit versucht worden der Verschiebung des Abflusses Rechnung zu tragen, welche durch die im Spätherbst fallenden Niederschläge verursacht wird und die in der Hauptsache dem nächsten Jahr zu gute kommt. Die Vergleichbarkeit wird dadurch wesentlich erhöht, wenn auch der Faktor der Aufspeicherung in Form von Schnee und Eis nicht eliminiert wird, ein Faktor der in unserm Untersuchungsgebiet durch den Einfluß der Gletscher auch nie eliminiert werden kann. Die in den oben angeführten Veröffentlichungen enthaltenen Niederschlagswerte wurden deshalb auf den neuen Zeitraum umgerechnet.

Bei der Wahl der Untersuchungsperiode war die Absicht wegleitend, möglichst das neueste Material zur Verarbeitung heranzuziehen. Da nun für die Abflußverhältnisse als letztes Jahr 1919 in Betracht kam, so war damit die Wahl der

[47]) R. Billwiller jr.: Ein neues Modell eines geschützten Regenmessers. Meteorolog. Ztschr. 1910, S. 193.

festgelegt. Bei der Untersuchung dieser 10jährigen Periode war immerhin noch die äußerste Grenze in Bezug auf zuverlässige Mittelbildung innegehalten. Ein weiteres Zurückgreifen war nicht ratsam, da dann die Reduktion der Ergebnisse der seit 1911 im Betriebe stehenden Regenmeßstationen zu unsicher geworden wäre und speziell die Ergebnisse der windgeschützten Regenmesser auf der Rigi und dem St. Gotthard nur bis 1908 zurückgehen. Da sich die Berechnungen alle auf hydrologische Jahre beziehen, so fällt der Umstand, daß die Wahl der Periode nicht in Einklang steht mit jenen, den meteorologischen Untersuchungen zu Grunde gelegten Dezennien, sondern um ein Jahr verschoben ist, nicht schwer ins Gewicht. Dazu kommt, daß unter Hinzunahme des für große Teile der Schweiz niederschlagsreichen Jahres 1910 der Einfluß des ausgesprochenen Trockenjahres 1911 eher ausgeglichen werden konnte, und so die ermittelten zehnjährigen Mittelwerte eher Anspruch auf Richtigkeit machen können im Rahmen einer bei zehnjährigen Mittelwerten überhaupt zu erzielenden Genauigkeit.

Das vorhandene Material, auf das hydrologische Jahr umgerechnet, wurde mit Hilfe der Quotienten entsprechender Werte auf seine Homogenität geprüft, fehlende Jahre wurden fallweise ergänzt, wo das nach der Lage der benachbarten Stationen angängig erschien, und die Mittel kürzerer Reihen auf zehn Jahre reduziert. Diese bereinigten Zahlenwerte bildeten die Grundlage der weiteren Untersuchungen, sie finden sich in den beigegebenen Tabellen No. 6 und 7. Dabei sind die Stationen des Reußgebietes getrennt aufgeführt von den Nachbarstationen, die zur Konstruktion der Regenkarte mitverwendet wurden, oder bei der Reduktionsrechnung nötig waren. Die Ergebnisse der mitverwendeten Totalisatoren wurden auf den gleichen Zeitraum umgerechnet. Auf die Verwendbarkeit der so erhaltenen Werte kommen wir bei der Untersuchung der Teilgebiete noch eingehender zu sprechen. Die zur Verfügung stehenden Ergebnisse sind in einem besondern Abschnitte der Tabelle beigefügt.

Schon ein rascher Ueberblick über die ermittelten Zahlenwerte mußte zur Erkenntnis führen, daß es nicht angängig sein werde, das gesamte Reußgebiet als Ganzes zu behandeln, was ja bei der Manigfaltigkeit der oro-

graphischen Verhältnisse von vornherein zu erwarten war. Wohl findet sich mit wachsender Meereshöhe und Annäherung an den Hauptkamm der Alpen eine Steigerung der Niederschlagshöhe, doch kann die Abgeschlossenheit einzelner Täler auch das umgekehrte bedingen. Folgende Zahlen mögen das Gesagte illustrieren:

Stans:	456 m	ü. M,	1303 mm	mittlere	Niederschlagshöhe
Sarnen:	487	„	1096	„	„	„
Göschenen:	1107	„	1547	„	„	„
Göschenenalp:	1715	„	1300	„	„	„

Tabelle No. 6. *Jährliche Niederschlagshöhen der hydrologischen Jahre 1909/10—1918/19.*

A) Reußgebiet.

No.	Station	m. ü. M.	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	Mittel
1	Andermatt-D.	1450	1484	1298	1439	1255	1863	1476	1723	1456	1710	1629	1533
1a	„ -A.	1450	1599	1510	1590	1454	2038	1635	1797	1665	1893	1776	1696
2	Göschenen	1107	1554	1380	1546	1427	1796	1438	1629	1528	1634	1535	1547
3	Göschenenalp	1715	—	—	1130	1157	1474	1388	1309	1306	1380	1419	1300
4	Färnigen	1460	—	—	1525	1488	1924	1559	1589	1571	1747	1837	1635
5	Gurtnellen	742	1276	939	1163	1126	1633	1252	1217	1227	1331	1315	1248
6	Lungenstutz	1097	—	—	1501	1637	1957	1522	1617	1585	1866	1942	1685
7	Unterschächen	1015	1737	1450	1610	1716	1923	1553	1682	1609	1735	1821	1684
8	Altdorf	456	1349	1021	1174	1227	1434	1202	1028	1142	1230	1037	1184
9	Isenthal	778	1884	1256	1617	1560	1726	1472	1537	1484	1607	1622	1577
10	Bisisthal	950	1960	1633	1813	2035	2338	1897	1909	1713	1822	1897	1902
11	Engelberg	1018	1871	1411	1543	1593	1768	1614	1641	1533	1768	1641	1638
12	Rickenbach	590	—	—	—	776	2090	1615	1914	1665	1715	1756	1770
13	Gersau	442	2063	1279	1715	1736	1882	1587	1688	—	1613	1660	1688
14	Vitznau	440	2013	1220	1507	1538	1619	1463	1456	1473	—	—	1510
15	Weggis	450	1842	1114	1478	1438	1611	1425	1342	1415	1330	1280	1428
16	Küßnacht/S.	440	1590	1110	1374	1278	1515	1229	1251	1301	1217	1325	1319
17	Rigi-Kulm	1787	2794	1604	2368	2096	2686	2208	2411	2226	1934	2325	2265
18	Pilatus-Kulm	2068	2335	1523	1641	1461	2189	1626	1540	1870	1434	1510	1713
19	Buchsteg	1050	1910	1456	1690	1818	1926	1779	1798	1884	1564	1692	1732
20	Luzern	453	1603	1144	1286	1216	1408	1124	1166	1233	1135	1167	1248
21	Stans	456	1697	940	1368	1301	1242	1206	1288	1426	1236	1324	1303
22	Sarnen	487	1233	931	1156	1123	1238	1061	1002	1074	1059	1085	1096
23	Lungern	742	1859	1321	1587	1535	1851	1457	1576	1390	1460	1589	1563
24	Entlebuch	722	1786	1192	1373	1313	1462	1320	1381	1344	1187	1175	1353
25	Flühli	893	2347	1470	1880	1731	1922	1834	1870	1651	1704	1671	1808
26	Sattel	832	2023	1288	1548	1640	2007	1637	1726	1494	1547	1672	1658
27	Hauptsee	729	—	—	—	1902	2124	1673	1812	1578	1601	—	1775
28	Unterägeri	735	2102	1171	1682	1536	1857	1741	1731	1495	1547	1602	1646
29	Walchwil	426	1794	1068	1564	1356	1640	1371	1373	1295	1386	1391	1424
30	Zug	429	1666	955	1266	1239	1570	1331	1309	1373	1192	1300	1316
31	Cham	425	1569	910	1222	1223	1498	1252	1195	1310	1135	1215	1255
32	Hausen/A.	603	1800	927	1269	1299	1538	1240	1256	1372	1193	1286	1318
33	Mettmenstetten	483	1463	842	934	—	—	—	—	—	940	982	1070
34	Bremgarten	371	1361	813	997	977	1197	930	965	1172	971	866	1025

Tabelle No. 7. *Jährliche Niederschlagshöhen der hydrologischen Jahre 1909/10—1918/19.*

B) Angrenzende Gebiete.

No.	Station	m. ü. M.	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	Mittel
35	Airolo	1143	1591	1614	1847	1390	2053	1676	1741	2020	1842	1445	1721
36	St. Gotthard	2103	1954	2018	2198	2202	2828	2133	2648	2838	2374	1991	2319
37	Oberwald	1370	1570	1358	1399	1356	1887	1516	1565	1511	1723	1859	1574
38	Gletsch	1760	1717	1540	1690	1626	1990	1670	1917	1675	1769	1870	1746
39	Furka	2406	1495	878	—	1559	2251	1773	2305	1927	2251	2610	?
40	Guttannen	1055	2085	1660	1734	1837	2104	1760	1719	1731	1879	1926	1844
41	Gadmen	1207	—	—	1500	1625	2099	1593	1839	1514	1683	1832	1720
42	Meiringen	605	1635	1209	1370	1374	1521	1263	1307	1245	1310	1413	1365
43	Brienz	575	1585	990	1132	1553	1233	1304	1195	1347	1337	1334	1300
44	Sedrun	1401	1178	938	1102	1187	1509	1155	1268	1266	1319	1353	1228
45	Auen-Linthtal	821	1833	1383	1804	1710	2096	1695	1835	1632	1679	1791	1746
46	Klönthal	838	2192	1451	1821	1796	2122	1657	1776	1768	1677	1846	1811
47	Ober Yberg	1090	2307	1557	1932	1887	2237	1898	2001	1807	1858	2017	1950
48	Einsiedeln	914	1959	1377	1591	1640	1991	1669	1655	1524	1575	1781	1676
49	Euthal	895	2139	1407	1655	1730	1932	1764	1719	1709	1684	1705	1744
50	Schönenberg	700	2011	1175	1590	1537	1804	1480	1656	1517	1518	1705	1598
51	Zürich M.-A.	493	1394	850	1066	1060	1184	992	1141	1134	1008	956	1079
52	Dietikon	392	1430	778	1123	1104	1335	1026	1096	1167	1025	969	1105
53	Marbach	875	1993	1474	1577	1633	2061	1681	1695	1523	1489	1512	1664
54	Schangnau	930	2001	1440	1630	1558	1962	1640	1579	1544	1522	1460	1634
55	Escholzmatt	853	2056	1374	1577	1517	1927	1687	1639	1489	1420	1502	1619
56	Langnau	685	1640	1048	1354	1277	1502	1418	1310	1293	1158	1156	1316
57	Luthern	778	—	1190	1373	1318	1619	1634	1470	1462	1298	1234	1435
58	Willisau	560	—	910	1122	1007	1302	1209	1201	1224	—	—	1140
59	Hitzkirch	520	1429	934	1118	1065	1210	1034	1121	1191	1028	1019	1115
60	Münster	656	1571	943	1191	1143	1318	1175	1187	1234	1025	1134	1192
61	Muri	483	1434	881	1061	1029	1284	987	1033	1260	1067	1062	1110

C) Ergebnisse der Totalisatoren.

62	Rhonegletscher	2800				2790	2230	2730	2220	2290	2560	2370
63	Fibbia	2700				—	—	2390	2100	2210	1950	?
64	Claridenfirn	2700				—	—	3800	3460	3490	3730	3620
65	Grimsel	1800				—	1960	2150	1850	1980	2190	2010

Diese Tatsachen empfahlen, um allen Eigentümlichkeiten nach Möglichkeit gerecht zu werden, eine weitgehende Gliederung des Untersuchungsgebietes, dabei war auch darauf Rücksicht zu nehmen, nicht Gebiete, die nachher bei den Abflußverhältnissen wieder zusammengefaßt werden mußten, unnötig auseinanderzureißen.

Um in die verwickelten Verhältnisse Einblick zu erhalten, wurden die ermittelten Jahreswerte der ein-

zelnen Stationen nach Meeres- und Niederschlagshöhe graphisch aufgetragen, für jedes Jahr getrennt. Dabei stellten sich beim Vergleich der einzelnen Blätter immer wiederkehrende, also die Sonderheiten der einzelnen Teile charakterisierende Züge heraus, die zu der im Folgenden angegebenen Zerteilung des Gebietes führten. Für jedes dieser einzelnen Teilgebiete wurde dann an Hand der ermittelten 10-jährigen Mittelwerte die Abhängigkeitskurve der Niederschlagshöhe von der Meereshöhe gezeichnet. Aus diesen Beziehungskurven ergaben sich die Anhaltspunkte über die Meereshöhe der einzelnen Isohyeten in den Teilgebieten, als Grundlage zur Konstruktion der Niederschlagskarte des Reußgebietes. Aus ihr sollten die Niederschlagsmengen durch Planimetrierung bestimmt werden.

Auf Grund der Untersuchungen wurde unser Gebiet folgendermaßen gegliedert:

I. Einzugsgebiet der Reuß bis zum Vierwaldstättersee.
(mit Einschluß des Tales von Isenthal.)

Reußtal bis zum Pegel Andermatt, Haupttal von Andermatt bis zum See, Göscheneralptal, Meiental, Isental, Maderanertal, Schächental.

II. Einzugsgebiet der Reuß vom Beginn des Vierwaldstättersees bis zur Mündung der Kl. Emme.

Muotatal, Gebiet des Lauerzersees und Tal der Steineraa, Engelbergertal, Sarnertal (incl. Melchtal), Rigigebiet (incl. Seeufer von Schwyz bis Küßnacht), Pilatusgebiet.

III. Einzugsgebiet der Reuß von der Mündung der Kl. Emme bis zum Pegel Mellingen.

Entlebuch, Zugersee und Umgebung, Aegerisee, Reußtal von Luzern bis Mellingen.

B. Die Verarbeitung nach Teilgebieten.

In den folgenden Abschnitten soll die Art und Weise der Konstruktion der Beziehungskurven zwischen Meereshöhe und Niederschlagshöhe für die gewählten Einzelgebiete geschildert und das zur Konstruktion herbeigezogene Material nach der Art der Verwendung diskutiert werden.

1. Das Reußgebiet oberhalb des Vierwaldstättersees.
(inkl. Tal von Isenthal.)

Mußte in der ganzen Untersuchung bei einer, in Anbetracht der verwickelten Verhältnisse kleinen Stationszahl (vergl. Tabelle No. 5), der Grundsatz leitend sein, alle vorhandenen Beobachtungsdaten mitzuverwenden, so ergab sich doch im Laufe der Untersuchung, daß einzelne Stationen oder einzelne Jahreswerte ausgeschlossen werden mussten, da dabei offensichtlich unrichtige Daten das Bild der Kurven verzerrt hätten. Im Teilgebiet oberhalb Seedorf betrifft dies die Stationen Andermatt-Dorf*) und Furka. Bei der Station Furka, die durch die Fortwache von Galenhütten bedient wird, sind die älteren Jahreswerte gänzlich unbrauchbar; einzig die Angaben der letzten Jahre dürften die richtigen Mengen ergeben haben. Dieser Umstand ist umso bedauerlicher, als diese Station infolge ihrer Höhenlage wertvolle Aufschlüsse für ihr Gebiet hätte geben können. Es wurde deshalb versucht, die Werte der Niederschlagshöhen von Oberwald-Gletsch und des Totalisators auf dem Rhonegletscher zu einer angenäherten Bestimmung des Wertes für die Furka zu verwenden. Der wahrscheinlichste, auf den zehnjährigen Zeitraum bezogene Mittelwert dürfte ca. 2300 mm betragen. Wir sind uns der Einwände gegen solche Interpolationen vollauf bewußt, da ja im Alpengebiet auch für sehr benachbarte Gebiete Analogien nie einwandfrei angewendet werden dürfen, doch ist kaum zu erwarten, daß in absehbarer Zeit soviel Regenmeßstationen errichtet oder Totalisatoren aufgestellt werden können, daß überhaupt von Analogieschlüssen, auch der vorsichtigsten Art, gänzlich abgesehen werden kann, besonders da ja mit dem vorhandenen Material heute immer mehr versucht werden muß, für die Bedürfnisse der Praxis, für Wasserbauten auszukommen, ohne eine Vermehrung der Resultate abwarten zu können.

---

*) Nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Direktor Dr. Maurer dürften die Angaben der Station Andermatt, Kaserne Altkirch die Niederschlagsverhältnisse dieses Ortes besser darstellen, als die durchgehend kleinern Werte der Meteorolog. Station im Dorfe Andermatt selbst, wo offenbar der Anteil des Schnees am Niederschlag nicht einwandfrei zur Geltung kommt. In der Tabelle sind die Angaben beider Stationen aufgeführt, doch wurden zur Untersuchung nur die größern Werte der Station Altkirch verwertet.

Leider ließen sich die Resultate des Totalisators auf dem Fibbiagrat, 2710 m, oberhalb des St. Gotthardhospizes, nicht nutzbringend zum Zeichnen der Kurve verwenden.[48])

Die Zahlenwerte der Tabelle 6 zeigen, daß dieser Teil nicht als Ganzes behandelt werden kann. Es empfahl sich, das Urserental und auch die größeren Seitentäler für sich zu betrachten, um den höheren Teilen des unteren Reußtales gerecht zu werden, ohne schematisch Verhältnisse des Gotthardgebietes nach den äußern Teilen übertragen zu müssen, wie das bei einer einzigen Kurve geschehen wäre.

Die Tafeln enthalten die Abhängigkeitskurven der Niederschlagshöhen von der Meereshöhe, alle entworfen auf Grund der zehnjährigen Mittelwerte. Die Berechtigung, die Untersuchung überhaupt auf Grund dieser Kurven durchführen zu dürfen, ergab sich aus dem gleichsinnigen Verlauf der einzelnen Jahreskurven.

Durch die vorhandenen Stationen am besten festgelegt erscheint der Verlauf der Kurve für das Haupttal, mit der Station beim St. Gotthardhospiz als richtunggebenden Wert für die höhern Lagen; allerdings ist diese Station allen Einflüssen der Paßlage ausgesetzt und reicht mit ihrem nach Süden vorgeschobenen Standpunkt eben auch nicht aus, die Verhältnisse des Nordhanges einwandfrei zu charakterisieren. Das Studium der jahreszeitlichen Verteilung zeigt aber, daß auch während unserer Periode, sich der südalpine Einfluß bei Göschenen in ausgesprochenem Maße bemerkbar macht (Niederschlagsmaximum im Oktober[50]) und auch noch die Verhältnisse von Gurtnellen beeinflußt, sodaß St. Gotthard als richtunggebend für dieses oberste Tal

[48]) In den Annalen ist vom Bearbeiter der Totalisatorenergebnisse, Dr. Billwiller jun. schon 1916 folgende Vermutung ausgesprochen worden:

> „Der Apparat auf dem Fibbiagrat scheint eine, in Anbetracht der starken Winde des Zentralkammes im allgemeinen und der Gottharddepression im speziellen etwas allzu freie Lage zu haben. Die Abnahme der Niederschläge vom Gotthard bis zur Fibbia dürfte kaum reell sein.“[49])

Anläßlich einer mündlichen Aussprache in Zürich wurde diese Meinung auch weiterhin aufrecht erhalten, sodaß wir die Ergebnisse bei der Untersuchung nicht verwendeten. Es wäre also verfrüht, aus den Ergebnissen dieser beiden Stationen etwas über die Höhe der Zone maximalen Niederschlags aussagen zu wollen.

[49]) Annalen der Meteorolog. Zentralanstalt 1916.

[50]) vergl. Maurer etc.: Klima der Schweiz, S. 172 B. I.

stück angenommen werden darf. Hier macht sich besonders die Unsicherheit der Ergebnisse der Station Furka bemerkbar. Verwendet man den aus Gletsch-Rhonegletscher extrapolierten Wert, ca. 230 cm, so scheint sich daraus eine leichte Depression der Isohyeten dieses Teiles gegenüber dem eigentlichen Gotthardgebiet zu ergeben (vergl. Tabelle der Isohyetenhöhen). Der untere Teil der Kurve des Haupttales zeichnet deutlich die Sonderstellung des tiefern Reußtales mit seinem Trockengebiet Altdorf-Gurtnellen. (Vergl. Regenkarte).

Die Kurve zeigt eine geringe Steigerung der Niederschlagshöhe von Altdorf bis Gurtnellen, doch können besondere Einflüsse eines Jahres auch eine Abnahme bedingen (vergl. Tab. 6). Von Gurtnellen bis Göschenen ergibt sich abermals ein rascher Anstieg, der im Teilstück Göschenen-Andermatt wieder unterbrochen wird. Wir haben deshalb vorgezogen, für das untere Teilstück, wo nicht durch die Kurven der Nebentäler Anhaltspunkte gegeben waren, die direkte Verlängerung des unteren Kurvenstückes für die Untersuchung zu verwenden, um die Sonderstellung Andermatts zu eliminieren*).

Die Mittelwerte der Stationen der großen rechten Seitentäler, des Maderaner- und Schächentales, Lungenstutz ob Amsteg (1097 m) und Unterschächen (1015 m) rechtfertigten eine besondere Betrachtung dieser Gebiete umsomehr, als durch die bis jetzt 4 Jahre umfassenden Totalisatorergebnisse auf dem Claridenfirn (2700 m) wertvolle Anhaltspunkte für das Firngebiet gegeben waren. Die Größe der gemessenen Werte wird verblüffen, aber für die prinzipielle Richtigkeit sprechen die Versuche, aus Schneehöhenmessungen den Firnzuwachs zu bestimmen, die 1918/19 89 % des dem Zeitintervall der Messungen entsprechenden Totalisatorinhaltes ergaben ([51], [52]).

Bei der Untersuchung wurde auch, um die Schwankungen der Jahreswerte im Verlaufe der Periode zu er-

* Bei unseren Untersuchungen weist die Station Andermatt nicht die Abnahme der Niederschlagshöhe auf, wie die Normalwerte 1846—1903. Der Grund liegt im Ausschluß der Ergebnisse von Andermatt-Dorf, die ein Mittel von 1533 mm gegenüber Göschenen 1547 ergeben und die erst 1902 durch Andermatt-Altkirch ergänzt und allem Anschein nach berichtigt wurden.

[51]) Jahrbuch SKI: (R. Billwiller jr. Bericht der Gletscherkomm. der phys. Ges. Zürich) Jahrgang 1919 Bd. XIV, oder

[52]) Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt Jahrgang 1919 Zürich 1920.

halten, der pronzentuale Anteil der Einzelwerte am 10-jährigen Mittel benötigt. Die prozentuale Verteilung der Einzelwerte der Station Linthal wurde nun verwendet, um unter Beibehaltung des Verhältnisses, aus den Totalisatorwerten ein Mittel zu berechnen. Auf diese Weise konnten natürlich auch bei absoluter Richtigkeit der Totalisatormengen keine genau gleichen Werte herauskommen, immerhin war man aber berechtigt, bei nicht allzugroßen Differenzen einen Rückschluß auf die Zuverlässigkeit der Totalisatormengen zu machen. Die erhaltenen Zahlen waren die folgenden:

Jahr:	Mittel:	
1915/16	380 cm	Mittel: 362 cm
16/17	346 „	
17/18	349 „	
18/19	373 „	

Die größte Abweichung in % des aus den Einzelwerten resultierenden Mittels beträgt 18 cm = 5 %. Die Resultate dürften also ziemlich frei von den Einflüssen des Standortes sein. Damit erscheint die Berechtigung zur Verwendung dieser Resultate gegeben. Der Totalisator steht allerdings außerhalb unseres Gebietes und kennzeichnet die Verhältnisse der Ostseite der Claridengruppe. Wir haben deshalb zur Reduktion der Totalisatormengen auch die täglichen Messungen der Station Linthal verwendet. Die gegenüber dem Reußtal noch stärkere Abgeschlossenheit des Linthtales gegen Süden bedingt ein stärkeres Aufsteigen der Luftmassen und demzufolge eine stärkere Abkühlung und Niederschlagsbildung, sodaß wir für die Reußtalseite des Claridengebietes eher kleinere Niederschlagswerte erwarten dürften. Darum sind wir zu der, in der Figur angegebenen Linienführung gekommen. Auch hier wurde wie überall, wenn besondere Anhaltspunkte fehlten, eine möglichst geradlinige Führung der Kurven vorgezogen, da ohnehin eine Berücksichtigung des Böschungswinkels und eine Unterscheidung nach Luv- und Leeseite unterbleiben mußte.

Auf der linken Talhälfte konnte eine Zerteilung in Göscheneralp-, Meien- und Isenthal erfolgen. Auch hier standen für die Täler selbst je eine Station zur Verfügung, dagegen macht sich das Fehlen einer Höhenstation sehr fühlbar. Ein Totalisator im Titlis- und Urirotstockgebiet würde viel zur Aufklärung der Verhältnisse beitragen. Das Göscheneralptal zeigt

infolge seiner Abgeschlossenheit in ausgesprochenem Maße den Einfluß des Regenschattens. Es ergibt sich eine beträchtliche Abnahme der Niederschlagsmengen von Göschenen (1107 m): 1547 mm bis Göscheneralp (1715 m): 1300 mm. Dieses Verhalten ist bei der Kurve an der starken Ausbuchtung erkenntlich. Nach oben zu muß sich wieder ein gewisser Ausgleich gegen die Verhältnisse am Rhonegletscher einstellen, wofür aus dem Gletscherreichtum gewisse Anhaltspunkte zu gewinnen sind. Die Kurve wurde deshalb in Anpassung an die Messungen dort gezogen, aber doch stets unter Berücksichtigung der relativen Niederschlagsarmut dieses Gebietes.

Eine Umrechnung der Ergebnisse des Totalisators auf dem Rhonegletscher (2800 m) mit Hilfe der Station Gletsch ergab folgende Resultate:

Hydrolog. Jahr:	Mittel:	
13/14	244 cm	
14/15	233 „	
15/16	249 „	Mittel: 237 cm
16/17	231 „	
17/18	227 „	
18/19	239 „	

Die größte Abweichung beträgt hier 12 cm = 5 % des Mittels. Leider waren die Ergebnisse vom Rhonegletscher nicht in gleichem Maße nutzbringend zu verwenden wie die vom Claridenfirn, da infolge seiner Lage Rückschlüsse auf das Reußgebiet weniger zulässig erscheinen.

Auch das Meiental weist ähnliche Abweichungen auf, doch tritt hier nicht, wie im Göscheneralptal eine Abnahme auf, sondern bloß eine langsamere Zunahme der Niederschlagshöhen mit der Meereshöhe, dementsprechend wurde die Kurve nach oben mehr der des Haupttales angenähert. Es läßt sich mit den vorhandenen Messungen erst wieder für das Tal von Isenthal eine Kurve konstruieren. Isenthal, dem Trockengebiet des Haupttales entrückt, weist eine starke Erhöhung der Niederschlagsmenge auf gegenüber Altdorf. Die Kurve wurde hier unter Verwendung der Ergebnisse von Rigi-Kulm gezogen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der im Haupttale erhaltenen Steigung. Die Verwendung der Ergebnisse der Station Rigi für das Urirotstockgebiet erschien gerechtfertigt, da diesen Erhebungen die gleiche Wirkung für die anprallenden Luftströmungen

zukommen muß wie dem Rigimassiv. Die bedeutend größere Niederschlagsmenge der Station Isenthal kann nicht ihre Begründung einzig in der größeren Meereshöhe finden. Eine sichere Zeichnung der Isohyeten läßt sich erst durchführen, wenn Angaben über die Niederschlagshöhen der Firnregionen dieses Gebietes vorliegen. Da für die linke Talseite des Reußtales zwischen Meien- und Isenthal Messungen fehlen, so wurde bei der Zeichnung der Isohyeten ein langsamer Ausgleich von einem Tal zum andern vorausgesetzt.

II. Einzugsgebiet der Reuß vom Beginn des Vierwaldstättersees bis zur Mündung der Kl. Emme.

Das Muotatal und das Tal von Engelberg lassen sich nur im Zusammenhang mit den Tälern des obern Reußgebietes betrachten. Die beiden Stationen Engelberg und Stans, die für das Engelbergertal in Betracht kommen, können natürlich die Verhältnisse dieses Tales nur ungenügend kennzeichnen. Stans liegt am untern Ende des Tales, also etwas abseits, und Engelberg kommt nach seiner Lage im Talkessel von Engelberg nur für die speziellen Verhältnisse dieses Teiles in Betracht. Aus den Untersuchungen scheint hervorzugehen, daß bei einer Vermehrung der Stationen für den Talkessel von Engelberg eine Art Trockeninsel, entsprechend dem Meien- oder Göschenertal, nachzuweisen wäre, dagegen ergibt sich mit Zunahme der Meereshöhe aus dem Firn- und Gletscherreichtum eine starke Vermehrung der Niederschläge.

Es erschien nach allem gerechtfertigt, auch hier die Station Rigi nach oben als richtunggebend zu betrachten, sodaß daraus die in der Figur angedeutete Kurvenführung ihre Erklärung findet.

Der Vergleich der Niederschlagsmengen mit den zugehörigen Abflußmengen legt die Vermutung nahe, daß die Niederschlagsmengen der höhern Regionen noch unterschätzt wurden und denen des Claridengebietes zu entsprechen scheinen; in diesem Abschnitt wären Totalisatorresultate besonders erwünscht.

Günstigere Verhältnisse treffen wir im Muotatal, wenn auch da nur zwei Stationen, Rickenbach und Bisistal, zur Verfügung stehen, so lassen sich doch aus den Resultaten des Claridengebietes Anhaltspunkte für die Kurvenführung finden. Die Kurve wurde nach

der Höhe weniger steil gezeichnet als die des Schächer tales. Ueber den Niederschlagsreichtum dieses Tale ließen die Ergebnisse der Nachbarstationen Ober Yberg und Klöntal keinen Zweifel bestehen. Fü das Einzugsgebiet des Lauerzersees stand die Statio Sattel zur Verfügung, sodaß dieses Stück besonder betrachtet werden konnte.

Die günstigsten Verhältnisse zeigte das Rigige biet. Die zahlreichen Fußstationen und die Statio auf dem Gipfel selbst ließen die Zeichnung einwand freier Kurven zu. In der Figur sind die beiden Extreme die Kurven mit Hilfe der Stationen Küßnacht un Gersau gezeichnet.

Das letzte große Seitental dieses Abschnittes, da Tal der Sarneraa zeigt wieder ungünstigere Verhältnisse Wohl läßt sich für das Tal selbst aus den Stationen Sarnen und Lungern eine Kurve herleiten, die da Trockengebiet von Sarnen deutlich zum Ausdruck bringt doch fehlen für die Täler der Melchaa weitere Anhalts punkte, und die Ergebnisse der Station Pilatus leiden zu sehr unter den Aufstellungsverhältnissen un am Fehlen eines Windschutzes, als daß sie hätten Ver wendung finden können. Mit Lungern und den Ueber legungen für das Engelbergertal wurde die Kurve fü dieses Tal nach oben verlängert. Für das Pilatusgebie wurde eine Kurve aus den Stationen Luzern, Buch steg und Rigi hergeleitet und mit der Kurve de Sarnertals kombiniert.

III. Reußgebiet von der Mündung der Kl. Emme bi Mellingen.

Im Einzugsgebiet der Kl. Emme fand für das Pilatus gebiet die obenerwähnte Kurve aus Buchsteg-Rig Verwendung, während für das Obere Entlebuch haupt sächlich die Station Flühli in Betracht kam. Di Talstationen Entlebuch und Escholzmatt wur den nicht zur Herleitung einer Kurve verwendet, woh aber direkt zur Zeichnung der Isohyeten benützt. Fü das Gebiet des Roßberges und des Aegerisee standen wieder für die Täler ausreichende Stationen zu Verfügung, die mit der Station Rigi zu einer Beziehungs kurve dieses Gebietes verwendet wurden.

Da diese Beziehungskurven blos zur Gewinnun von Anhaltspunkten über die mittlere Höhenlage de

Isohyeten in den Teilgebieten verwendet wurden, um daraus eine Niederschlagskarte zu zeichnen, so war bei der Konstruktion der Karte immer noch die Möglichkeit gegeben, nicht blos schematisch die Verhältnisse, wie sie in den Kurven dargestellt wurden, zu übertragen, sondern die besondern orographischen Verhältnisse zu berücksichtigen, doch bezogen sich solche Abweichungen hauptsächlich auf den Ausgleich von einem Teilgebiet zum andern. Bei den wenigen Stationen war von vornherein ausgeschlossen, eine Unterscheidung nach Luv- und Leeseite in den einzelnen Tälern durchzuführen. Deshalb wurde auch gar nicht versucht, für die übrigen Teile des Reußgebietes Beziehungskurven herzuleiten, denn sie wären zu schematisch ausgefallen.

C) Ergebnisse aus der Untersuchung der Teilgebiete.

Die in der umstehenden Tabelle No. 8 zusammengestellten Angaben über die ermittelten Meereshöhen der einzelnen Isohyeten haben den Wert von angenäherten Mittelwerten, so genau als sie aus dem vorhandenen Material hergeleitet werden konnten.

Es ist nun natürlich verlockend, die Zahlen zu verwenden, um eine Hebung der Isohyeten in den Gebieten größerer mittlerer Höhe gegenüber dem Vorlande nachzuweisen. Es geht aber aus dem früher Gesagten deutlich hervor, daß das Material nicht dazu ausreichen kann, um absolute Werte daraus abzuleiten. Ferner tritt bei Betrachtung der Regenkarte mit aller Deutlichkeit hervor, daß sich eine solche Hebung auch nie mit der gleichen allgemeinen Gültigkeit wird nachweisen lassen, wie die Hebung der Isothermen oder die Hebung der Schnee-, Wald- und Siedlungsgrenze. Das durch die spezielle Lage einzelner Gebiete bedingte Auftreten von relativ regenarmen Gebieten infolge der Lage im Regenschatten und der Abgeschlossenheit gegenüber den regenbringenden Winden wird das Bild immer stören. Die zunehmende Massenerhebung wirkt eben nach zwei verschiedenen Seiten, einmal bedingt sie für die Luvseite eine Zunahme der Niederschläge, gleichzeitig benachteiligt sie aber die Leeseite umsomehr, abgesehen von dem Uebergreifen von Niederschlägen über den Kamm.

Tabelle No. 8

Mittlere Meereshöhe der Isohyeten in den Teilgebieten.

Isohyete:	Rigi	Pilatus	Sarnertal	Engelbergtal	Muotatal	Isenthal
1200 mm	—	—	540 470	—	—	—
1400	560	640	650	620	—	450
1600	840	870	800	950	—	810
1800	910	1120	1120	1210	680	1120
2000	1300	1420	1460	1430	1130	1440
2200	1660	1720	1790	1700	1530	1750
2400	—	2070	2070	1950	1920	2070
2600	—	—	2350	2200	2400	2390
2800	—	—	—	2470	—	?
3000	—	—	—	—	—	—

Teilgeb.: Isohyete:	Reußtal Seedorf Göschenen	Schächental	Maderanertal	Meientall	Göschenental	Urserental (Mittel)
1200 mm	550	500	550	—	—	—
1400	930	700	760	930	1320 1900	—
1600	1170	920	1000	1380	2040	—
1800	1420	1130	1190	1650	2130	1560
2000	1660	1320	1370	1870	2220	1790
2200	1910	1520	1550	2100	2320	2010
2400	2160	1720	1730	2320	2460	2250
2600	2410	1910	1900	2550	2800	2480
2800	—	2120	2080	?	?	?
3000	—	2400	2300	—	—	—

Für die Schweiz sind auf Veranlassung von *E. Brückner*[53]) und unter seiner Leitung die Arbeiten ausgeführt worden, um den Einfluß der Verteilung der Massenerhebungen[54]) auf den Verlauf der Isothermen[55]) der Schnee-, Wald- und Siedlungsgrenze nachweisen[56 58]). Ist bei der Bearbeitung der Verteilung der Massenerhebungen durch *H. Lietz*[54]) eine Berechnung unter Zugrundelegung von Naturgebieten maßgebend gewesen, die eine strenge Vergleichbarkeit infolge der Ungleichheit der planierten Teilgebiete ausschließt, so läßt die Karte von *Th. Niethammer*[59]) eine solche zu, da sie auf einer absolut gleichmäßigen Zerteilung des dargestellten Gebietes beruht. Die Karte von *H. Walser*[60]) gibt eine Darstellung des Verlaufes der Grenzen der dauernd, periodisch und unbewohnten Gebiete, beschränkt sich also nicht, wie die Arbeit von *Flückiger*[58]) auf die Festlegung der obern Siedlungsgrenze überhaupt.

Wir stellen aus den oben aufgeführten Arbeiten für zwei Teilgebiete die Zahlen zusammen, die die Hebung der Isothermen und damit der Höhengrenzen veranschaulichen. Ihnen sind die Zahlen über die Meereshöhen ausgewählter Isohyeten beigefügt, die zeigen, daß von einer Hebung tatsächlich gesprochen werden kann. Da aber das Reußgebiet doch zu klein ist, um die Ausnahmen gegenüber dem allgemeinen Verhalten verschwinden zu lassen, begnügen wir uns mit dieser Zusammenstellung, ohne auf eine Diskussion des Betrages der Hebung einzugehen.

Ausgewählt wurden einerseits der isolierte Klotz der Rigi und anderseits das in die großen Massener-

[53]) E. Brückner: Die Höhengrenzen in der Schweiz. Naturwiss. Wochenschrift, N. F. IV, 1905, No. 52.

[54]) H. Lietz: Die Verteilung der mittleren Höhe in der Schweiz. Diss. Bern 1903, Jahresber. Geograph. Ges. Bern, Bd. XVII, 1903.

[55]) A. de Quervain: Die Hebung der athmosphärischen Isothermen in den Schweizer Alpen und ihre Beziehungen zu den Höhengrenzen. Gerlands Beiträge zur Geophysik Bd. 6, 1903.

[56]) J. Jegerlehner: Die Schneegrenze in der Schweiz. Ebda, Bd. 5, 1902.

[57]) E. Imhof: Die Waldgrenze in der Schweiz. Ebda, Bd. 4, 1900.

[58]) O. Flückiger: Die Höhe der menschlichen Siedlungen in der Schweiz. S. A. Zeitschr. f. Schweiz. Statistik, Bern 1906.

[59]) Th. Niethammer: Zur Theorie der isostatischen Reduktion der Schwerebeschleunigung (mit einer Karte der mittleren Höhen der Schweiz und der angrenzenden Gebiete), Verh. Nat. Ges. Basel. Bd. 28, 1917, S. 206.

[60]) H. Walser: Die Höhenregionen der Siedlungen in der Schweiz. Karte 1:200 000, Bern 1918.

hebungen eingeschnittene obere Reußtal. Die Zahlen lauten:

Meereshöhe der Schneegrenze	Waldgrenze	Siedlungsgrenze	Isotherme 11.5° Juli 1 p. m.
Rigi unter der Grenze (Säntis 2400 m)	1600 m	1610 m	1790 m
Ob. Reußtal 2750 „	1800 „	2050 „	2050 „
Differenz ca. 350 m	200 m	440 m	200 m

Meereshöhen der Isohyeten.

	1800 mm	2000 mm	2200 mm	
Rigi	910 m	1300 m	1660 m	
Oberes Reußtal	1420 „	1660 „	1910 „	
Differenz	510 m	360 m	250 m	Mittel 375 m

Bei der Doppelwirkung der Zunahme der Massenerhebung ist nicht zu erwarten, daß alle Teilgebiete das gleiche Bild zeigen. Da die Vermehrung der Niederschläge beim erzwungenen Aufsteigen der Luftmassen an den Gebirgen nicht nur einzig an den Hängen selbst eintritt, sondern auch schon zu einer Vermehrung im Vorgelände führt, so werden dadurch die einzelnen Teilgebiete noch schwieriger miteinander vergleichbar. Mit der Annäherung an den aus dem Mittelland unvermittelt ansteigenden Klotz der Rigi wird ein verstärktes Ueberregnen des Vorgeländes und der untern Teile der Erhebung eintreten, sodaß der Einfluß der Höhenlage der Stationen dagegen zurücktreten wird und hier gewissermaßen eine Senkung der Isohyeten eintritt. Im Gegensatz dazu wird sich gegen das Innere der Alpen die Abgeschlossenheit einzelner Talstücke wieder besonders auf der Talsohle und damit bei der Meereshöhe der niedern Isohyeten bemerkbar machen. Diese werden dadurch gegen das Mittelland besonders stark gehoben erscheinen. In der Höhe und damit bei den höheren Isohyeten wird sich ein gewisser Ausgleich einstellen. Die Zahlen zeigen dieses Verhalten sehr deutlich, die Hebung beträgt für die Isohyete von 1800 mm 510 m und nimmt bis zur Isohyete von 2200 auf 250 m ab.

Bei den wenigen Angaben über Niederschlagsmengen in Höhen über 2000 m wäre es noch etwas verfrüht, aus

der Form der Beziehungskurven etwas über die Zone der maximalen Niederschläge abzulesen. Sicher ist auf jeden Fall nach den Totalisatorergebnissen, was auch bei unsern Kurven deutlich zur Geltung kommt, daß die Zone beträchtlich höher liegt als früher angenommen wurde. Die früheren Angaben *Hann's*[61]), daß diese Zone etwas über 2000 m liege, und die Berechnungen von *Heß*[62]) über 1300 m, aber unter der Firngrenze, sind von *Maurer* und *Collet*[63]) dahin berichtigt worden, daß diese Zone beträchtlich über 2000 m und speziell im Gebiete des Rhonegletschers, für den Heß die Rechnung durchgeführt hatte, über der Firngrenze beginnt.

Nach den Meßresultaten, die zur Konstruktion der Kurven Verwendung gefunden haben, dürfte diese Zone im obern Reußgebiet in einer Höhe von 2700 bis 2800 m liegen.

Fischer[64]) hat aus seinen Untersuchungen über das Thurgebiet geschlossen, daß am Säntis in 2500 m diese Zone noch nicht erreicht sei.

Stellen wir aus den vorangegangenen Untersuchungen noch einige Werte über die Zunahme der Niederschlagshöhe pro 100 m Meereshöhe zusammen, so erhalten wir für die Teilgebiete folgende Mittelwerte:

Teilgebiet	Zunahme pro 100 m in mm
Rigi	73 mm
Pilatus	70 „
Sarnertal	71 „
Engelbergertal	76 „
Oberes Reußtal	75 „
Schächental	95 „
Maderanertal	103 „
Urserental	90 „

Die Zahlen zeigen eine schöne Uebereinstimmung der Größe der Zunahme pro 100 m Meereshöhe mit der Zunahme der Massenerhebung. Das Gotthardgebiet mit seiner geringen mittleren Höhe besitzt auch geringere Zunahme als das Claridengebiet mit bedeutenderer Massenerhebung. Die

[61]) J. Hann: Handbuch der Klimatologie. Bd. I, S. 299, Stuttgart 1902, 2. A.

[62]) H. Heß: Die Gletscher. Braunschweig 1904, S. 238.

[63]) J. Maurer-Collet: Die Niederschlagsmessung im Hochgebirge. Schweiz. Wasserwirtschaft, Jahrg. 7, Zürich 1915.

[64]) L. Fischer: A. a. O., S. 63.

Größe des Wertes für das Maderanertal und auch die des Schächentales sind mitbedingt durch den Einfluß der Niederschlagsarmut der untern Talstücke, während der Wert des Engelbergertales etwas zu klein sein dürfte. (Vergl. S. 51).

Die Zunahme an der Rigi von 45 mm für 100 m, die *Riggenbach* 1894[65]) berechnete, ist sicher zu klein. Die neue Zahl von 73 mm basiert auf den Ergebnissen des windgeschützten Ombrometers, während die früheren Messungen ohne Windschutz durchgeführt wurden. Die Formel, die *Riggenbach* und *Huber*[66]) zur Berechnung der Niederschlagshöhe aus den topographischen Verhältnissen der Station angegeben haben, wäre dementsprechend zu berichtigen und ihre Anwendbarkeit eventl. auf das eigentliche Untersuchungsgebiet, den Kanton Basel, einzuschränken.

Da zur Ermittlung der dem Reußgebiet im Mittel der zehnjährigen Periode zugekommenen Niederschlagsmengen aus der Niederschlagskarte die Flächen zwischen den einzelnen Isohyeten planimetriert werden mußten, so wurden die erhaltenen Flächeninhalte zur Herleitung der hyetographischen Kurve verwendet, entsprechend der Konstruktion der hypsographischen Kurve aus den Flächen zwischen ausgewählten Isohypsen.

Aus der Addition der Einzelresultate der Teilgebiete gab sich für das Gesamtgebiet folgende Verteilung der Fläche auf die Niederschlagshöhenstufen:

Tabelle No. 10. *Verteilung der Fläche des Reußgebietes nach Niederschlagshöhenstufen von 200 – 200 mm.*

1000—1200 mm	Niederschlagshöhe:	425.21	qkm
1200—1400 „	„	485.14	„
1400—1600 „	„	318.92	„
1600—1800 „	„	525.54	„
1800—2000 „	„	377.76	„
2000—2200 „	„	439.98	„
2200—2400 „	„	359.69	„
2400—2600 „	„	216.40	„
2600—2800 „	„	155.62	„
2800—3000 „	„	53.65	„
über 3000 „	„	24.37	„
	Total	3882.28	qkm

[65]) A. Riggenbach: Die Niederschlagsverhältnisse des Kanton Basel und ihre Beziehung zur Bodengestalt Verhandlg. Nat. Ges. Basel, Bd. X, 1896 oder J. Hann: A. a. O., Bd. I, S. 257.

[66]) R. Huber: Die Niederschlagsverteilung in Baselland. Diss. Basel. Annalen Schweiz. Met. Zentralanstalt. Zürich 1894.

Den Angaben über die höheren Stufen kommt keine absolute Bedeutung zu, denn in ihnen sind auch die Flächen enthalten, die über der Zone der maximalen Niederschlagsmengen liegen. Sie mußten der höhern Stufe zugerechnet werden, da Zahlen über das Ausmaß der Verminderung der Niederschläge völlig fehlen. Diese Flächen, gering im Vergleich zu den übrigen, werden herangezogen werden müssen zur Erklärung besonderer Eigentümlichkeiten des Verlaufes der Abhängigkeitskurve der Niederschlagshöhe von der Meereshöhe. Diese Beziehungskurve wurde nach der Methode von *Gravelius*[67]) aus der hypsographischen und hyetographischen Kurve abgeleitet. Aus den letzteren wurden für die *Mittlere Meereshöhe des Reußgebietes 1265 m* und für die *Mittlere Niederschlagshöhe des Reußgebietes 1820 mm* errechnet. Die zweite Zahl ist etwas größer als der durch direkte Berechnung erhaltene Wert 1814 mm (vergl. Tabelle No. 24).

Die Abhängigkeitskurve (vergl. Figur) zeigt die gleichen Eigentümlichkeiten, wie die entsprechenden Kurven von *Gravelius* für den Schwarzwald und das Erzgebirge. Auch die Kurve des Reußgebietes steigt zuerst stark, dann weniger an, erreicht in der Gegend der zentralen Isohypse den Kleinstwert, um abermals stärker anzusteigen. In der Meereshöhe von 2200 m tritt das gleiche Bild nochmals auf. Ueber 2700 m, wo die verminderte Steigung, entsprechend der Erreichung der Zone maximaler Niederschläge deutlich sichtbar ist, treten nun Eigentümlichkeiten auf, die ihren Grund in den oben erwähnten Ungenauigkeiten der höchsten Flächenareale der Isohyetenkarte haben. Die Konstruktionsmethode der Kurve muß versagen, sobald die Zunahme der Niederschläge mit wachsender Meereshöhe aufhört. Entsprechend den Ergebnissen aus den auf direktem Wege ermittelten Beziehungskurven der Einzelgebiete sollte bei ca. 2700—2800 m die Kurve ihren Maximalwert erreichen, um dann mit zunehmender Meereshöhe abzusinken.

3. Die räumliche Verteilung der Niederschläge.

Es war von vornherein beabsichtigt, die aus den Untersuchungen der Einzelgebiete gewonnenen Auf-

[67]) H. Gravelius: Zur Abhängigkeit des Regenfalls von der Meereshöhe. Ztschr. f. Gewässerkunde. Bd. 7, 1908.
J. Hann: Klimatologie. Bd. 1, S. 256, 3. Aufl. Stuttgart 1908.

schlüsse über die Niederschlagsverteilung zu einem Gesamtbilde in Form einer Niederschlagskarte zu vereinigen und sie zur Ermittlung der Niederschlagsmengen zu benützen. Dieser Verwendung entsprechend waren der Kartenmaßstab und der Isohyetenabstand zu wählen.

Um den Einzelheiten der Niederschlagsverteilung gerecht zu werden, war einerseits ein möglichst großer Maßstab der Niederschlagskarte erwünscht; anderseits waren doch die Anhaltspunkte zu dürftig, um Karten eines zu großen Maßstabes benützen zu können. Wir entschlossen uns deshalb, die das Reußgebiet enthaltenden Blätter des Dufouratlasses in 1:100000 als Grundlage zu verwenden und darauf Isohyeten im Abstande von 200—200 mm einzuzeichnen.

Die Aufschlüsse über die mittlere Meereshöhe der Isohyeten in den Teilgebieten ergaben die Anhaltspunkte zur Konstruktion der Niederschlagskarte. Wo die Schraffendarstellung des Geländes nicht zur ausreichenden Bestimmung der Meereshöhe genügte, wurden die Blätter der Originalaufnahmen in 1:50000 zu Hilfe gezogen. In den Gebieten, für die in den vorangegangenen Untersuchungen keine Beziehungskurven hergeleitet werden konnten, wurden die Mittel der Niederschlagshöhen der Stationen direkt in die Karte eingetragen und der Verlauf der Isohyeten unter Berücksichtigung der orographischen Verhältnisse und der Lage zu den regenbringenden Winden festgelegt. Es betrifft dies das Reußtal unterhalb Luzern, Teile des Zuger- und Aegeriseegebietes und einige Teile des Entlebuch.

Die Niederschlagskarte des Reußgebietes zeigt mit aller Deutlichkeit die verwickelten Verhältnisse der Niederschlagsverteilung in einer Hochgebirgslandschaft. Wohl ergibt sich im allgemeinen eine Zunahme der Niederschläge mit wachsender Meereshöhe, aber die Abgeschlossenheit einzelner Talstücke gegenüber den regenbringenden Winden kann dieses allgemeine Gesetz umkehren, wie das in den relativen Trockeninseln des untern Reuß- und Göschenentales und der Gegend von Sarnen geschieht. Gut kommt auf der Karte das Zusammenfallen der Gebiete maximaler Niederschläge mit denen größter mittlerer Höhe in den Gebieten der Clariden, des Dammastockes und des Titlis zum Ausdruck. Diese Zonen sind getrennt von solchen geringerer Massenerhebung, welche aber infolge ihrer Lage eben-

falls beträchtliche Niederschlagsmengen empfangen. Besonders deutlich tritt auf der Karte das Rigigebiet hervor. An den großen Niederschlagshöhen einzelner Fußstationen, wie Gersau, sind die aus dem Entlebuch austretenden und an den Steilhängen der Rigi brandenden Gewitter wesentlich mitbeteiligt. Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge gibt die deutlichsten Hinweise dafür.

Die Karte bietet ein so klares Bild der wechselnden Verhältnisse der Teilgebiete, daß nicht viel zu ihrer Beschreibung hinzuzufügen ist. Mit aller Deutlichkeit geht daraus hervor, wie verschieden die Verteilung der Niederschläge in dem Talgewirr des Hochgebirges ist, wie wenig demnach Analogieschlüsse von einem Teilstück zum andern zutreffen. Da könnte nur eine bedeutende Vermehrung der Beobachtungsstationen, die eine weitgehende Gliederung des Gebietes gestatten würden, zu einer völlig einwandfreien Darstellung führen. Die in der Karte erreichbare Genauigkeit ist also durch die vorhandene Stationenzahl etwas eingeschränkt.

Der hervorstechendste Zug der Karte ist wohl der Niederschlagsreichtum der Hochgebiete, der bei der relativen Niederschlagsarmut einzelner Talstücke umsomehr hervortritt. Hatte man schon früher aus dem Betrag der abgeflossenen Wassermassen speziell im Wallis, Rückschlüsse auf eine starke Zunahme der Niederschläge mit der Meereshöhe gezogen, so ergaben doch erst die Totalisatorenresultate Auskunft über den Betrag dieser Zunahme. Es war deshalb interessant unter Berücksichtigung dieser Resultate eine Darstellung der Verteilung der Niederschläge in einem Hochgebirgsgebiet zu versuchen, die allerdings aus den oben angeführten Gründen nicht abschließend sein kann.

4. Die Niederschlagsmengen der Teilgebiete.

Zur Ermittlung der Niederschlagsmengen des Reußgebietes standen an Hand der vorangegangenen Untersuchungen zwei Wege offen. Entweder konnte man sie direkt aus den in Abschnitt I–III (S. 46–53) ermittelten Beziehungskurven der Einzeljahre ableiten oder aber ihre Bestimmung aus der Niederschlagskarte auf planimetrischem Wege vornehmen. Da man bei der Zeichnung der Karte den Eigentümlichkeiten der Teilgebiete und den Uebergängen von einem zum andern durch Kombination

der aus den Kurven hergeleiteten Anhaltspunkte eher gerecht werden konnte und dementsprechend eine Ermittlung aus der Karte weit weniger schematisiert erscheinen mußte, als bei Verwendung der Kurven, so wurde die Niederschlagskarte als Grundlage der weiteren Untersuchungen gewählt. Die Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr waren weit weniger verschieden, als die Schwankungen von Teilgebiet zu Teilgebiet innerhalb eines Einzeljahres, sodaß aus den aus der Karte gewonnenen 10-jährigen Mittelwerten die Jahresmengen einwandfreier hergeleitet werden konnten, als aus den Jahreskurven.

In der Folge wurden deshalb für die aus Tabelle No. 10 ersichtlichen Teilgebiete die Größe der zwischen je zwei Isohyeten liegenden Flächen planimetrisch ermittelt (68). Die Multiplikation dieser Flächenzahlen mit den zugehörigen mittleren Niederschlagshöhen und die Addition der Einzelresultate ergab die mittleren Niederschlagsmengen der einzelnen Niederschlagsgebiete.

Mittlere Niederschlagsmengen der Teilgebiete.

Tabelle No. 10. Nach den planimetrischen Ermittlungen auf der Niederschlagskarte 1 : 100 0000 (Mittel 1909/10—1918/19).

Niederschlagsgebiet	Menge in Millionen Kubikmetern
Reußgebiet bis zum Pegel Andermatt	451.96
Göscheneralptal	202.04
Meiental	164.96
Maderanertal	293.04
Schächental	253.75
Reußtal (Rest bis Seedorf)	503.97
I. Seedorf Pegelstation	1869.72
Riemenstaldertal	124.22
Isental bis zum Lielibach (Beckenried)	262.00
Muotatal, ohne Tal der Seeweren	520.70
Tal der Seeweren	129.36
Engelbergertal bis Pegel Büren	462.45
Sarnertal bis Pegel Sarnen	496.10
Rest Reußtal-Seedorf—Mündung der Kl. Emme	653.64
II. Reußgebiet bis zur Kl. Emme	4518.19
Entlebuch bis Pegel Werthenstein	611.02
Rest Mündung der Kl. Emme bis zum Pegel Mellingen	1008.84
III. Reußgebiet bis zum Pegel Mellingen	6138.05

(68) Verwendet wurde ein Kompensationspolarplanimeter von Coradi, Zürich.

(Vgl. Tab. 10). Aus diesen Mittelwerten wurden mit Hilfe der jährlichen Schwankungen der Niederschagshöhen, die für jede Station berechnet wurden, (vergl. Tabelle No. 11) die Jahresmengen der Niederschläge der Einzugsgebiete ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle No. 24 zusammengestellt.

Tabelle No. 11.

Die jährliche Schwankung der Niederschlagshöhen in ‰ des 10-jährigen Mittels.

Station	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19
St. Gotthard	84	86	95	95	122	92	114	123	103	86
Andermatt-A	94	89	94	86	120	96	106	98	112	105
Göschenen	101	89	100	92	116	93	105	99	106	99
Gurtnellen	102	75	93	90	131	101	98	99	107	105
Altdorf	114	86	99	103	121	101	87	97	104	88
Unterschächen	103	86	96	102	114	92	100	96	103	108
Isenthal	119	80	102	99	110	93	98	94	102	103
Bisisthal	103	86	95	107	123	100	101	90	96	100
Engelberg	114	86	94	97	108	99	100	94	108	100
Stans	130	72	105	100	96	93	99	109	95	102
Sarnen	113	85	105	102	112	97	92	98	97	99
Lungern	119	85	102	98	118	94	101	89	93	101
Rigikulm	123	71	105	93	119	98	106	99	86	103
Weggis	129	78	104	101	113	99	94	99	93	90
Küßnacht	121	84	104	97	115	93	95	99	92	101
Luzern	129	92	103	97	113	90	94	99	91	93
Flühli	130	88	101	97	108	98	102	99	88	87
Entlebuch	132	81	104	96	106	102	103	92	94	93
Escholzmatt	127	85	98	94	119	104	101	92	88	93
Buchsteg	109	83	97	103	110	102	104	109	91	98
Sattel	122	78	94	99	121	99	104	90	93	101
U. Aegeri	128	71	102	94	113	106	105	91	94	98
Zug	127	73	93	95	119	101	99	104	91	99
Walchwil	126	75	110	95	115	96	97	91	97	98
Hausen	137	70	96	98	117	94	95	104	91	97

5. *Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge.*

Bei der Untersuchung der Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß ist die Frage nach der jahres-

zeitlichen Verteilung der Niederschläge und ihrem Einfluß auf die Wasserführung der Gerinne von besonderer Bedeutung. Dabei darf allerdings bei unserm Untersuchungsgebiet nie außer Acht gelassen werden, daß die Art der Niederschläge (Regen oder Schnee) nicht nur einzig von ihrer Verteilung über das Jahr bestimmt ist, sondern wesentlich durch die Meereshöhe beeinflußt wird. Dadurch wird im Hochgebirge nie der unmittelbare Einfluß der Niederschlagsverteilung auf die Wasserführung in dem Maße zu beobachten sein, wie in einem weniger gebirgigen Gebiet. Es kann sich in den folgenden Bemerkungen nicht darum handeln, eine wesentlich neue Darstellung der Verhältnisse zu geben. Die großen Richtlinien sind im „Klima der Schweiz" bereits festgelegt. Für die vorliegende Arbeit kam in Betracht, zu untersuchen, ob die Verhältnisse der zehnjährigen Periode 1909—1919 die gleichen Züge aufweisen, wie die 37-jährige Normalperiode 1864—1900 oder ob spezielle Eigentümlichkeiten auftreten, auf die bei Betrachtung der Abflußverhältnisse Rücksicht zu nehmen war. Gleichzeitig wird bei der, seit 1911 erfolgten Vermehrung der Stationen Gelegenheit geboten, auch diese in den Kreis der Beobachtungen einzubeziehen.

In der nebenstehenden Tabelle No. 12 ist für einige typische Stationen der prozentuale Anteil der Monatssummen an der Jahresmenge der Niederschläge dargestellt, und in Tabelle 14 die Verteilung auf Sommerhalbjahr Mai-Oktober und Winterhalbjahr November April, wieder in Prozenten der Jahresmenge ausgedrückt, beigegeben.

Die Tabelle zeigt für die Stationen des Mittellandes und der Voralpentäler den bekannten jährlichen Gang. Das Minimum der monatlichen Niederschlagsmengen fällt durchwegs auf den Februar, das sich durchgehend sehr deutlich hervorhebt, in unserer Darstellung natürlich etwas verstärkt durch die kürzere Dauer des Februars. Die Monate März, April und Mai weisen eine langsame Zunahme auf, die im Juni zu dem stark ausgeprägten Maximum anschwillt; Juli und August zeigen einen leichten Rückgang gegenüber Juni, sind aber immer noch ausgesprochen regenreiche Monate, während die folgenden Monate in ihrer relativen Niederschlagsarmut sich deutlich von ihnen unterscheiden. Vom Oktober bis November findet eine leichte Abnahme statt, die sich im Dezember zu einem sekundären Maximum umkehrt,

Tabelle No. 12

Monatliche Verteilung der Niederschläge,
in ‰ der mittleren Jahressummen 1910—19.

Station	m	O.	N.	D.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	Differenz Max. Min.
Zürich *)	493	68	70	84	62	**47**	77	67	86	**133**	111	113	81	86
Muri	483	67	77	91	60	**47**	77	62	94	**129**	105	109	81	82
U. Aegeri	735	66	69	72	56	**46**	72	76	82	**136**	128	119	83	90
Zug	429	63	61	65	55	**43**	70	70	89	**152**	128	120	86	109
Walchwil	426	66	61	65	54	**43**	69	73	84	**151**	125	123	87	108
Entlebuch	722	66	74	85	56	**49**	79	72	94	**138**	106	104	76	89
Flühli	893	67	74	86	62	**50**	67	70	81	**131**	123	108	82	81
Luzern	453	63	59	61	50	**42**	68	69	93	**151**	135	121	90	109
Weggis	450	67	62	57	50	**45**	65	77	86	**155**	126	122	92	110
Rigikulm	1787	62	68	75	55	**47**	72	84	80	**127**	124	122	84	80
Sarnen	487	76	64	67	53	**40**	66	68	83	**141**	134	123	87	101
Lungern	726	71	76	110	83	**57**	78	68	70	**111**	105	98	73	54
Engelberg	1018	78	69	82	69	**49**	72	77	75	**125**	118	104	82	76
Altdorf	456	78	66	88	69	**43**	65	75	78	**127**	111	114	87	84
Gurtnellen	742	94	75	97	85	**49**	75	80	67	**103**	101	90	86	54
Göschenen	1107	**100**	86	98	82	**54**	91	97	72	91	80	73	78	46
Andermatt	1450	97	74	95	82	**52**	79	90	71	**101**	94	84	82	49
St Gotthard	2103	**110**	80	96	68	**56**	100	94	79	83	75	80	80	54

um dann von neuem gegen das Februarminimum abzufallen.

Die Schwankungen der Niederschläge innerhalb des Jahres bewegen sich in weiten Grenzen. Sie sind am größten bei Weggis mit den Extremen 155 ‰ und 45 ‰. Die winterlichen Minima zeigen durchgehend ungefähr die gleiche Größenordnung, während die sommerlichen Maxima starke, wahrscheinlich durch die lokalen Einflüsse intensiver Gewitterregen beeinflußte Schwankungen aufweisen.

Das Reußgebiet oberhalb des Vierwaldstättersees fällt besonders auf durch seine Eigenart des südalpinen Einflusses auf die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge. Die Stationen zeigen einen langsamen Uebergang von den im vorhergegangenen Abschnitt ge-

*) Zürich wurde hier mitaufgeführt, da diese Station bei der später folgenden Untersuchung über die Niederschlagsdichte mitverwendet wurde.

In der vorstehenden Tabelle ist das **Hauptminimum halbfett,** das **Hauptmaximum fett** gesetzt.

schilderten Verhältnissen zu denen des südlichen Alpenhangs. Weist Altdorf noch genau den jahreszeitlichen Gang auf wie Luzern, so tritt schon bei Gurtnellen ein weiteres, noch wenig ausgeprägtes, sekundäres Maximum im Oktober auf. Göschenen zeigt die eben geschilderten Züge noch in weit stärkerem Maße. Die Anschwellung im Oktober ist zum Hauptmaximum geworden, wenn auch das Junimaximum noch deutlich hervortritt, damit sind schon Aehnlichkeiten mit der für die südlichen Alpentäler charakteristischen Niederschlagsverteilung vorhanden[69]). Daneben ist auch die Zunahme des Dezembermaximums beachtenswert, tritt es neben den übrigen Monaten auch nicht deutlicher hervor, so ist doch der höhere prozentuale Anteil der Wintermonate auffällig, gegenüber den Zahlen bei den Stationen des Außenrandes und Vorlandes der Alpen.

Andermatt weist wieder eine geringe Modifikation der Verhältnisse auf, ein Zurücksinken in ähnliche Zustände wie Gurtnellen, die Abgeschlossenheit und Sonderstellung dieses Hochtales kennzeichnend. Sind auch alle drei Maxima erhalten, so fällt doch das Hauptmaximum mit einer geringen Zunahme gegenüber dem Oktober auf den Juni. St. Gotthard, schon auf der Südseite der Alpen gelegen, zeigt das Oktobermaximum wieder mit aller Deutlichkeit, gegenüber dem alle übrigen stark zurücktreten. Hier fällt auch ein weiteres Maximum im März besonders stark auf, gegenüber dem das sommerliche Maximum des Juni beinahe verschwindet. Die für südalpine Verhältnisse charakteristischen Frühlings- und Herbstregen finden ihren Ausdruck in den Niederschlagsmengen des März und Oktober, deren Maxima gegenüber denen des Dezembers und Juni stark überwiegen. Ein Anschwellen der Niederschlagsmengen im März ist auch bei den übrigen Stationen zu beobachten, aber in viel geringerem Maße als hier.

Die eben besprochenen Verhältnisse zeigen deutlich das Uebergreifen der Niederschläge über den Hauptkamm der Alpen, dessen Wirkung als Wetterscheide erst weiter unten in den Tälern in vollem Maße eintritt.

Die Ergebnisse der seit 1911 neu errichteten Stationen lassen sich infolge der Schwierigkeit der Reduktion der Monatssummen, die stärkeren lokalen Einflüssen unterliegen und nicht mit der gleichen Genauigkeit wie die

[69]) Vergl. Klima der Schweiz, S. 251, B. 1.

Jahressummen auf den 10-jährigen Zeitraum zu reduzieren sind, nicht in vollem Maße herbeiziehen. Die folgenden Bemerkungen beziehen sich auf die, aus den 8-jährigen Mittelwerten erhaltenen Resultate. Die Station auf der Göschenenalp weist mit ihrer abgeschlossenen Lage ähnliche Verhältnisse auf wie Andermatt, auch hier liegt das Hauptmaximum im Sommer mit einer Verschiebung vom Juni auf den Juli. Färnigen zeigt auch die gleichen vier Maxima, aber das größte davon im Dezember. Lungenstutz stimmt in seinem jährlichen Verhalten mit Gurtnellen überein, das weitere Wegrücken vom Süden darin zum Ausdruck bringend. Das Dezembermaximum von Lungenstutz ist bedingt durch die abnormen Niederschläge vom Dezember 1918 und 19, wo 506 mm Niederschlag fielen gegenüber ca. 200 mm im Mittel. Auf die gleiche Ursache ist auch die Abweichung bei Lungern zurückzuführen, das in der 10-jährigen Periode für Juni und Dezember die gleichen Prozentzahlen aufweist. Bei Stationen mit relativ geringen Niederschlagsmengen mußten diese Ausnahmen umsomehr ins Gewicht fallen. In Bezug auf die Totalschwankungen läßt sich sagen, daß sich der Anteil des regenärmsten Monats an der Jahressumme ungefähr in den gleichen Grenzen wie bei den vorher betrachteten Werten bewegt. Dagegen erweist sich der Anteil des regenreichsten Monats sehr stark verringert, zugunsten einer gleichmäßigeren Regenverteilung über das Jahr und des Hervortretens anderer sekundärer Maxima, auf die schon verwiesen wurde.

Vergleichen wir die Normalwerte der Niederschlagsverteilung unserer 10-jährigen Periode mit den 37-jährigen Normalwerten[70]), so erhalten wir die in Tabelle No. 13 zusammengestellten Zahlenwerte. Der Vergleich der Jahresmittel zeigt, daß wir beinahe durchwegs etwas zu große Werte erhalten haben gegenüber den 37-jährigen Mittelwerten, einzig Altdorf und Engelberg haben etwas kleinere 10-jährige Werte. Das Maximum der Abweichungen beträgt für Göschenen 15 %. Um diese Zunahme gegenüber den 37-jährigen Werten zu erklären, geben wir uns Rechenschaft auf was für Jahre sich die verglichenen Mittelwerte beziehen. Die Normalwerte wurden erhalten als Mittel der Jahre 1864—1900. Unsere Unter-

[70]) Maurer, etc.: Klima. Bd. 2, Klimatabellen.

Tabelle No. 13.

37-jährige und 10-jährige Normalwerte der Niederschlagsmengen.

Station	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
Muri	50	55	67	85	102	128	122	118	94	94	66	68	1049
	68	53	87	70	106	145	118	122	91	75	87	102	1124
Luzern	43	46	68	91	117	149	157	153	113	95	62	55	1149
	62	52	85	86	116	189	168	151	112	78	74	76	1248
Gersau	65	76	105	131	147	190	201	186	150	135	89	96	1571
	110	80	109	127	142	240	186	204	169	104	111	116	1698
Sarnen	45	52	61	93	106	134	132	148	120	85	49	47	1073
	59	44	73	75	92	156	148	136	96	84	71	74	1108
Engelberg	68	75	97	121	153	216	245	240	164	154	92	89	1714
	115	81	120	128	125	207	196	172	136	130	114	136	1660
Altdorf	53	64	79	98	103	135	166	154	105	118	88	85	1248
	82	62	78	90	93	152	133	137	104	93	79	105	1198
Göschenen	78	97	124	132	123	101	120	127	124	139	100	98	1368
	128	85	143	152	113	142	125	114	122	156	134	153	1567
Andermatt	97	108	88	81	87	88	108	120	139	142	78	74	1210
	140	90	136	154	122	174	162	144	141	167	127	162	1718
Rigikulm	50	59	71	117	164	241	265	242	190	124	71	72	1666
	91	77	127	152	175	292	285	281	194	140	124	144	2082

suchungen beziehen sich auf die Jahre 1910—1919. Nach den Angaben von *E. Brückner*[71]) war die Periode 1856—1870 trocken, darauf folgten die nassen Jahre 1871—1885, auf die von neuem trockene Jahre folgen. Daraus ergibt sich für die Normalperiode ein Vorherrschen von trockenen Jahren.

Nach 1902 hat wieder ein Umschwung zu Gunsten der nassen Jahre eingesetzt[72]). Unsere Untersuchungsperiode zeigt erst 1919 für Teilgebiete ein Eintreten von trockenen Jahren. Aus diesen Gründen würde folgen, daß die 37-jährigen Werte eher zu kleine Mittel ergäben,

[71]) E. Brückner: Klimaschwankungen seit 1700. Geogr. Abhdlg. Bd. 4, S. 192, Wien 1890.

[72]) W. Krebs: Umschwung der Niederschlagsverhältnisse zwischen 1902 und 1908 mit besonderer Berücksichtigung Mitteleuropas. Ztschr. f. Gewässerkde. Bd. 9, 1910, S. 64.

während unsere 10-jährigen Werte, auf vorwiegend nassen Jahren beruhend, zu groß ausfallen müssen.

Die Zahlen für Andermatt und Rigikulm können nicht direkt miteinander verglichen werden, da sich die neuen Zahlen für Andermatt auf die Station Altkirch beziehen und die neuen für Rigikulm mit dem windgeschützten Ombrometer erhalten wurden. Diese letzteren sind hier mit aufgeführt, weil sich aus ihnen die Vermehrung der winterlichen Niederschläge bei Anwendung des Windschutzes ergibt.

Ueberblickt man die jahreszeitliche Verteilung im Verlauf der beiden Perioden, so ist das am deutlichsten hervortretende Ergebnis wohl die Verschiebung des Minimums vom Januar auf den Februar und eine Verschiebung des Maximums vom Juli auf den Juni. Daneben erkennt man einen vermehrten Niederschlagsreichtum der Wintermonate.

Um die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge im Reußgebiete noch nach andern Gesichtspunkten darzustellen, ist in der Tabelle No. 14 eine Unterschei-

Tabelle No. 14. *Verteilung der Niederschläge auf Sommer- und Winterhalbjahr.*

(Mai-Oktober und November-April in % der Jahressummen)

Station:	m	Sommer %	Winter %
Muri	483	58	42
Luzern	453	65	35
Sarnen	487	64	36
Lungern	726	53	47
Engelberg	1018	58	42
Weggis	450	65	35
Rigikulm	1787	60	40
Altdorf	456	59	41
Gurtnellen	742	54	46
Göschenen	1107	49	51
Andermatt	1450	53	47
St. Gotthard	2103	51	49
Zug	429	64	36
Unter Aegeri	735	61	39
Walchwil	426	64	36
Entlebuch	722	59	41
Flühli	893	59	41

dung nach Sommer- und Winterhalbjahr durchgeführt worden.

Die Tabelle zeigt die gleiche Auswahl der Stationen wie No. 12. Ihr Inhalt ist nach dem im vorigen Abschnitt besprochenen leicht verständlich. Mittelland und Voralpentäler zeigen ein starkes Vorwiegen der sommerlichen Niederschläge. Luzern erhält im Sommerhalbjahr 65 % im Winter 35 % der jährlichen Niederschlagsmenge. An Hand der Stationen des Haupttales von Weggis an aufwärts, läßt sich, mit zunehmender Meereshöhe und Annäherung an den Hauptkamm der Alpen, das Zurückgehen des Ueberwiegens der Sommerniederschläge deutlich verfolgen.

Hat Weggis noch das gleiche Verhältnis wie Luzern, so weist schon Altdorf mit 59 % und 41 % eine Abnahme auf, die sich bis Göschenen mit 49 % und 51 % verstärkt, sodaß sich hier die beiden Jahreshälften die Wage halten. Andermatt zeigt wieder einen geringen Rückgang und St. Gotthard bekommt mit 51 % und 49 % in beiden Jahreshälften ungefähr gleich viel.

Da es ja die Winterniederschläge sind, die über den Winter aufgespeichert, den Abflußvorgang im nächsten Frühjahr bestimmen, so mußte auf diese Tatsache hier aufmerksam gemacht werden.

Neben der Kenntnis der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge ist für unser Problem noch wichtig die Form und die Art und Weise in der die Niederschläge fallen. Die nächsten Abschnitte berühren deshalb kurz diese beiden Fragen.

6. Der Anteil des Schnees am Niederschlag.

Zur Beantwortnng dieser Frage stehen uns leider nicht allzuviel Anhaltspunkte zur Verfügung. Wir müssen uns darauf beschränken, die Angaben aus „Klima der Schweiz» hier kurz zu zitieren. Da es ferner bei der Untersuchung der Niederschlagsintensität notwendig war, die Zahl der Niederschlagstage der Untersuchungsperiode auszuzählen so wurden auch gleichzeitig die in den Annalen mitgeteilten Angaben über Tage mit Schneefall mit ausgezogen. Die Vergleichung der Zahl der Schneetage und Niederschlagstage überhaupt, gewährt dann auch gewisse Einblicke zur Beantwortung der Frage nach dem Anteil des Schnees am Niederschlag.

Die folgende aus „Klima der Schweiz" zusammengestellte Tabelle enthält die für das Reußgebiet in Betracht kommenden Zahlenwerte. Sie gibt die Schmelzwasserhöhen, ausgedrückt in mm und in % der gesamten Niederschlagsmenge.

Mittlere Niederschlagshöhen aus Schnee[73]).
(1886—1915)

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr:
a. Schmelzwasserhöhen in mm:													
Zürich	24	23	24	10	1	—	—	—	—	4	12	17	115
Luzern	22	24	27	10	2	—	—	—	0.5	3	11	17	116
Engelberg	63	66	73	64	27	2	1	2	12	35	35	56	436
Säntis	153	166	185	219	171	126	100	91	112	143	127	163	1756
b. in % der gesamten Niederschlagsmengen:													
Zürich	46	46	32	11	1	—	—	—	—	3	18	31	11
Luzern	53	47	37	10	1	—	—	—	0.4	3	16	36	9.5
Engelberg	75	75	67	49	18	1	0.4	1	8	27	49	64	27
Säntis	100	99	99	99	84	47	34	33	54	81	98	100	72

Ferner für die Periode 1864—1883 auf das Jahr bezogen folgende Werte:

	2103 m ü. M. St. Gotthard:*)	1450 m Andermatt:	1800 m Grimsel:	456 m Altdorf:
in mm	1130	610	1407	106
in %	58	50	71	9

„In den tiefen Lagen diesseits unsrer Alpen fällt also nahezu der zehnte Teil des Gesamtniederschlags in fester Form, in der Gebirgsregion, Hochtäler im Niveau von 1600—1800 m ist es schon etwa die Hälfte des letzteren die als Schnee auftritt, am Säntisgipfel nahezu drei Viertel".

Ferner: „Bei der Höhe von 3500 m dürften wohl die vollen 100 % erreicht werden, wo demnach der Niederschlag das ganze Jahr durch als Schnee fällt, die vereinzelten, schwachen Regenfälle, die in dieser Höhenregion im Hochsommer hie und da noch zur Aufzeichnung gelangen, kommen nicht mehr in Betracht".

[73]) Maurer, etc. Klima der Schweiz: Band I. S. 88.
*) Die Zahl für Gotthard dürfte eher zu klein sein infolge des Windeinflusses.

Ueber die Dauer der Schneedecke enthält das gleiche Werk die folgenden Angaben, bezogen auf die Periode 1895—1905 [74]).

Station	Erste Schneedecke	Letzte Schneedecke	Zwischenzeit	Mittlere Zahl der Schneetage
Luzern 453 m	28. Nov.	30. März	111 Tage	41.1 Tage
Altdorf 456 m	9. Nov.	5. April	146 „	44.9 „
Sarnen 487 m	16. Nov.	14. April	148 „	54.7 „
Engelberg 1018 m	17. Nov.	10. Mai	204 „	140.6 „

Die auf Grund der in den Annalen gemachten Angaben für die Periode 1910—19 durchgeführte Auszählung der Schnee- und Niederschlagstage überhaupt, ergab die in Tabelle No. 16 mitgeteilten Mittelwerte. In der folgenden Zusammenstellung sind die Jahresmittel der nach Meereshöhe geordneten Stationen aufgeführt, eingeteilt nach Zahl der Niederschlagstage, Zahl der Schneetage und dem prozentualen Anteil derselben an der Zahl der Niederschlagstage.

Tabelle No. 16.

Verteilung der Schnee- und Niederschlagstage nach der Meereshöhe der Stationen. 1910—19.

	m ü. M.	Niederschl.-Tage	Schnee-Tage	% der * Tage an N.-Tagen
St. Gotthard	2103	202.2	145.4	72
Pilatus	2068	180.8	117.7	65
Rigikulm	1787	179.1	107.5	60
Andermatt	1450	153.4	82.2	54
Göschenen	1107	170.0	72.1	42
Engelberg	1018	182.0	68.3	37
Gurtnellen	742	149.5	48.8	33
Lungern	726	171.2	45.0	26
Sarnen	487	166.4	30.0	18
Muri	483	156.8	27.8	18
Altdorf	456	168.4	28.7	17
Luzern	453	174.6	33.0	19
Weggis	450	171.6	27.7	16
Walchwil	426	164.7	28.5	17

Die graphische Darstellung ergibt eine Kurve mit einem ähnlichen Verlauf wie die Kurve des Anteils des

[74]) Maurer, etc.: Klima. Bd. 1, S. 86.

Schnees am Niederschlag, die im Klima der Schweiz veröffentlicht ist[75]).

In der Tabelle No. 17 sind die entsprechenden Mittelwerte für die einzelnen Monate mitgeteilt. Sie zeigen, daß im Reußgebiet in einer Meereshöhe von ca. 1000 bis 1100 m kein einziger Monat im Verlauf der 10-jährigen Periode ohne Schneefall blieb.

Tabelle No. 17. *Mittlere Anzahl der monatlichen Niederschlags- und Schneetage, 1910—1919.*

Station	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr	
St. Gotthard	16.1	13.2	20.4	19.5	18.5	16.7	15.7	14.4	14.3	17.5	17.0	18.9	202.2	N.-Tage
2103 m	16.0	13.2	20.4	18.8	11.0	4.8	3.0	2.2	6.4	13.8	15.7	18.9	145.2	Sch.- „
Pilatus	14.0	11.7	16.8	15.4	16.8	18.0	17.8	16.1	12.1	12.6	14.0	15.5	180.8	
2068 m	13.7	11.7	16.6	15.0	8.6	4.6	3.7	2.4	4.9	9.2	12.5	14.8	117.7	
Rigikulm	13.2	10.7	16.2	15.4	16.3	17.2	17.6	15.7	12.7	12.5	14.7	16.9	179.1	
1787 m	12.5	10.7	15.8	14.8	6.3	3.5	2.2	1.3	4.4	8.0	13.2	14.8	107.5	
Andermatt	11.6	9.7	13.6	14.5	14.1	13.8	15.0	12.9	11.6	11.9	11.6	13.1	153.4	
1450 m	10.9	9.4	12.8	11.6	3.9	1.8	0.3	0.3	3.0	6.1	9.9	12.2	82.2	
Göschenen	12.1	9.8	15.4	15.9	15.2	15.8	16.4	14.5	13.1	13.5	13.1	15.2	170.0	
1107 m	10.6	8.8	12.4	9.6	2.7	1.2	0.1	0.2	1.3	4.7	9.4	11.1	72.1	
Engelberg	12.5	10.0	15.9	16.3	16.0	18.4	19.0	16.9	13.0	14.6	14.0	15.4	182.0	
1018 m	10.0	8.4	10.7	10.4	2.4	0.7	0.1	—	0.9	4.7	8.7	9.3	68.3	
Gurtnellen	11.6	9.0	12.5	12.8	13.0	14.1	16.3	13.8	10.7	11.3	11.8	12.6	149.5	
742 m	8.2	6.9	8.4	5.7	1.3	0.8	—	—	0.1	3.0	6.8	7.6	48.8	
Lungern	12.5	10.2	14.6	14.7	15.9	17.4	17.6	15.8	11.7	13.0	13.0	14.8	171.2	
726 m	8.1	6.7	8.8	5.2	0.9	0.3	—	—	0.1	2.3	5.8	6.8	45.0	
Sarnen	12.7	9.7	14.0	12.9	14.6	17.3	17.3	15.6	11.4	13.1	13.6	14.2	166.4	
487 m	6.9	4.9	6.0	2.8	0.6	—	—	—	—	1.0	3.2	4.6	30.0	
Altdorf	11.9	9.8	14.4	14.3	15.8	17.2	18.5	16.6	11.4	12.3	12.7	13.5	168.4	
456 m	6.0	4.6	5.7	3.4	0.3	—	—	—	—	0.8	3.1	4.8	28.7	
Weggis	12.7	10.0	15.2	14.4	15.2	17.1	17.5	15.6	12.8	12.6	13.7	14.8	171.6	
450 m	6.8	4.1	6.3	3.1	0.4	—	—	—	—	0.4	2.6	4.0	27.7	
Luzern	13.2	10.4	15.3	15.0	14.5	17.3	17.3	16.3	11.9	14.8	14.5	15.1	174.6	
453 m	7.4	4.7	7.0	3.6	0.8	—	—	—	—	0.8	3.3	5.4	33.0	
Walchwil	12.4	9.7	14.9	14.0	13.9	17.2	15.9	15.2	11.6	12.3	13.5	14.1	164.7	
426 m	6.1	4.1	6.5	3.3	0.5	—	—	—	—	1.0	3.2	3.8	28.5	

[75]) Maurer, etc.: Klima. Bd. 1, S. 89.

Hier ist nun auch der Platz, einige Bemerkungen zu den auf Seite 34 zusammengestellten Werten über die Meereshöhe der 0 Grad Isotherme der Monate im Verlauf des Jahres und über die Verteilung der Höhen nach den ausgewählten Stufen von 1800 und 2400 m zu machen.

Vergleichen wir die Angaben über die Dauer der Schneedecke an den einzelnen Stationen mit dem Zeitintervall, für das die mittlere Monatstemperatur in der betreffenden Meereshöhe unter 0 Grad bleibt, so erkennt man im großen Ganzen die Uebereinstimmung der Zahlenwerte. Wir können also durch Kombination dieser beiden Angaben in erster Annäherung, solange eben genauere Beobachtungen fehlen, die durchschnittliche Dauer der Schneedecke und damit die Dauer der Aufspeicherung von Teilen der Niederschläge für bestimmte Meereshöhen ermitteln.

Demnach würde die Aufspeicherung in einer Meereshöhe von ca. 450 m, also für ungefähr das ganze Reußgebiet, im Durchschnitt 2 Monate betragen. In Höhen von mehr als 1000 m, d. h. für ca. 55 % des Gesamtgebietes, ist die Dauer schon auf mindestens 3.5—4.5 Monate angewachsen. In Höhen über 2400 m, für ca. 8 % des Gebietes, sind es schon 8 Monate während welchen die als Schnee gefallenen Niederschläge aufgespeichert werden.

Ueber den Anteil des Schnees am Niederschlag ergaben die Beobachtungen für Höhen über 1800 m ca. 50 %, für solche über 2400 m rund 75 % der gesamten Niederschlagsmengen.

Ueberblicken wir die auf S. 30 angegebenen Werte so zeigt sich, daß für das Einzugsgebiet der Reuß bis Andermatt auf 88 % der Fläche 50 % der Niederschläge als Schnee fallen. Auf etwas weniger als der Hälfte des Gebietes sind es 75 % der Gesamtmengen; für Seedorf sind auf 66 % der Fläche die Hälfte und auf 27 % drei Viertel der Niederschläge Schnee. Für das Gesamtgebiet nehmen diese Zahlen ab auf 24 % und 8 % der Fläche.

Diese Angaben zeigen, wie hoch wir den Einfluß der Form der Niederschläge auf den Abfluß einzuschätzen haben. Die späteren Ausführungen werden beweisen, daß es diese Speichergebiete sind, die den Verlauf des Abflußvorganges des Reußgebietes bestimmen.

7. *Die räumliche Verteilung der Niederschlagstage.*

In Tabelle No. 18 sind die Angaben über die Zahl der Niederschlagstage der Stationen des Reußgebietes nach Einzeljahren gesondert angegeben und ihnen die berechneten 10-jährigen Mittelwerte beigefügt. Bei der Berechnung der Niederschlagstage wurden die Angaben der Annalen verwendet, die sich auf Tage mit einer Niederschlagsmenge gleich oder größer 1 mm stützen.

Die Beibehaltung dieser Grenze empfiehlt sich, weil bei der Darstellung der geographischen Verbreitung die Verhältnisse einwandfreier dargestellt werden können, als unter zu Grundelegung der Zahl der Niederschlagstage überhaupt, deren Zahl je nach der Genauigkeit des Beobachters bei der Beurteilung einer geringen Niederschlagsmenge, Schwankungen unterworfen ist. Um die Verbreitung besser überblicken zu können, wurde auch versucht, eine kartographische Darstellung davon zu geben. Eine solche läßt sich wohl zeichnen, muß aber bei den spärlichen Angaben für die Höhenregionen große Lücken aufweisen, wenn man diese nicht durch Interpolationen ausfüllen will. Aus diesen Gründen ist von einer Wiedergabe der erhaltenen Karte abgesehen worden. Sie weist im wesentlichen die gleichen Züge auf, wie die Karte der Verteilung der Niederschlagsmengen. Wo dort ein Trockengebiet zu Tage trat, findet sich auch hier ein Minimum; die Maxima lassen sich wegen der fehlenden Angaben weniger gut festlegen. Im großen Ganzen gehen also die Aenderungen der Niederschlagstage und Niederschlagsmengen einander parallel, wenn auch nicht gleichen Mengen eine gleiche Zahl von Tagen entspricht oder umgekehrt, wie durch Vergleich der entsprechenden Tabellen leicht nachzuweisen ist.

Andermatt weist wieder, seiner Sonderstellung entsprechend, eine Abweichung auf. Die Armut an Niederschlagstagen kommt hier noch besser zum Ausdruck, wenn man auch die Tage mit einer Summe unter 1 mm mitzählt. Die Zahlen für Göschenen und Andermatt lauten: Mittel 1910–9:

Göschenen 170.0 Andermatt 153.4 Tage*).

*) Diese Abweichungen werden im Klima der Schweiz durch die ungünstigen Bedingungen zur Niederschlagsbildung in diesem Hochtal erklärt[76]).

[76]) Maurer, etc.: Klima etc. Bd. 1, S. 175.

Tabelle No. 18.

Mittlere Zahl der jährlichen Niederschlagstage.

(N.-Summe $\geqq$ 1 mm, Mittel 1910—1919).

Station	m ü. M.	1910	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Mittel
St. Gotthard	2103	213	148	176	182	175	193	211	167	169	166	180.0
Andermatt	1450	159	121	136	141	147	147	163	141	125	153	143.3
A.-matt-A.	1450	177	125	150	143	144	144	175	139	120	154	147.1
Göschenen	1107	182	126	155	144	148	152	171	144	125	152	149.9
Gösch.-Alp	1715	—	-	143	144	150	144	143	—	121	156	(143.2)
Färnigen	1640	-	-	138	152	142	150	168	145	127	180	(151.2)
Gurtnellen	742	142	106	134	129	142	139	156	-	113	148	(134.1)
Lungenstutz	1097	—	—	165	155	139	141	164	121	127	168	(148.5)
Altdorf	456	158	117	141	147	140	141	162	143	125	148	142.2
U.-Schächen	1015	175	—	164	169	165	158	182	154	143	176	(161.4)
Isenthal	778	185	132	162	158	157	163	175	161	134	181	160.8
Rickenbach	590	—	—	163	160	172	167	172	146	144	180	(161.9)
Bisisthal	950	—	126	175	158	153	164	176	151	131	174	(158.3)
Engelberg	1018	191	127	169	156	157	170	180	151	150	173	162.4
Gersau	442	175	128	163	152	156	166	170	—	134	—	(155.4)
Vitznau	440	167	112	155	145	149	160	166	143	—	—	(150.0)
Weggis	450	180	118	154	148	158	167	164	137	125	159	151.0
Rigikulm	1787	185	123	155	147	163	177	176	147	136	181	159.0
Pilatus	2068	204	139	158	154	164	193	179	160	132	176	165.8
Stans	456	160	102	151	161	—	173	172	154	123	158	149.9
Sarnen	487	157	110	143	136	133	147	151	129	113	157	137.6
Lungern	742	178	126	151	153	149	163	160	143	128	168	151.9
Buchsteg	1050	190	129	152	155	—	184	180	155	142	171	(162.2)
Entlebuch	722	178	122	146	140	152	179	167	143	134	156	151.7
Flühli	893	182	123	151	155	154	188	179	153	135	167	158.7
Luzern	453	170	112	149	139	143	156	176	130	127	152	145.4
Küßnacht	440	162	111	151	143	144	160	164	137	131	155	145.8
Walchwil	426	162	115	153	147	154	170	167	144	123	159	149.4
Cham	425	163	116	136	147	146	—	—	—	—	—	—
Zug	429	140	115	134	139	143	158	163	141	129	163	142.5
U.-Aegeri	735	179	109	151	149	155	174	187	143	133	177	155.7
Hauptsee	729	—	—	—	153	145	164	183	144	131	—	—
Sattel	832	175	127	156	148	159	166	174	141	136	174	155.6
Mettmenst.	483	149	111	143	—	—	—	—	—	118	152	—
Hausen	603	159	104	142	133	145	148	168	141	123	166	142.9
Bremgarten	371	158	111	133	140	129	141	—	143	113	145	(137.3)
Muri	483	156	103	—	129	145	162	—	139	123	—	(141.0)

Die eingeklammerten Zahlen sind durch Interpolation der fehlenden Jahre bestimmt.

8. *Die jährliche Schwankung der Niederschläge.*

Um die Schwankungen der Niederschlagshöhen im Verlaufe des zur Untersuchung verwendeten Jahrzehnts betrachten zu können, sind in Tabelle No. 19 die Maxima und Minima der jährlichen Mengen nach Größe und Jahr des Auftretens für ausgewählte Stationen zusammengestellt worden.

Tabelle No. 19.

Jährliche Veränderlichkeit der Niederschlagshöhen.

1909/10—18/19.

Station	Meereshöhe	Maximum	Jahr	Minimum	Jahr	Quotient
St. Gotthard	2103	2838	13/14 16/17	1954	1909/10	1.45
Andermatt-Altkirch	ca. 1450	2038	13/14	1154	12/13	1.40
Göschenen	1107	1796	13/14	1380	10/11	1.30
Gurtnellen	742	1633	13/14	939	10/11	1.74
Unterschächen	„ 1015	1923	13/14	1450	10/11	1.33
Altdorf	456	1434	13/14	1021	10/11	1.40
Isenthal	„ 778	1884	09/10	1256	10/11	1.50
Bisisthal	„ 950	1338	13/14	1633	10/11	1.43
Sattel	„ 832	2023	09/10	1288	10/11	1.57
Vitznau	440	2013	09/10	1220	10/11	1.65
Rigi-Kulm	1787	2794	09/10	1604	10/11	1.74
Küßnacht (Schwyz)	„ 440	1590	09/10	1110	10/11	1.43
Engelberg	1018	1871	09/10	1411	10/11	1.33
Stans	„ 456	1697	09/10	1940	10/11	1.81
Lungern	„ 742	1859	09/10 13/14	1321	10/11	1.41
Sarnen	487	1238	09/10 13/14	931	10/11	1.33
Luzern	453	1603	09/10	1124	14/15	1.43
Flühli	„ 893	2347	09/10	1470	10/11	1.60
Escholzmatt	„ 853	2056	09/10	1374	10/11	1.49
Entlebuch	„ 722	1786	09/10	1175	18/19	1.52
Buchsteg-Eigental	„ 1050	1926	09/10 13/14	1456	10/11	1.32
Unterägeri	„ 735	2102	09/10	1171	10/11	1.79
Zug	„ 429	1666	09/10	955	10/11	1.75
Hausen a. Albis	„ 603	1800	09/10	927	10/11	1.94
Muri	483	1434	09/10	881	10/11	1.63
Bremgarten	„ 371	1361	09/10	813	10/11	1.68

Zur Darstellung der Unterschiede in der Größe der Schwankungen wurde aus Maxima und Minima der Schwankungskoeffizient berechnet, der angibt wie oft

das Minimum im Maximum enthalten ist. Die Tabelle würde eigentlich ihren vollen Wert erst erhalten, wenn sie verglichen werden könnte mit den entsprechenden Schwankungen der Abflußmengen.

Bei der Kürze der Beobachtungszeit des Abflusses (1914—19) ist es aber nicht möglich, eine entsprechende Tabelle aufzustellen, um die Schwankungen in den Teilgebieten miteinander vergleichen zu können. Nur für das Gesamtgebiet, für das auch beim Abfluß eine zehnjährige Periode vorliegt, lassen sich die entsprechenden Zahlen angeben. Wir beschränken uns deshalb hier darauf, in ein paar Worten den Inhalt der Tabelle zu charakterisieren und verweisen für das übrige auf den vierten Teil der Arbeit, wo die Schwankungen der Gesamtmengen des Niederschlages mit denen der Gesamtmengen des Abflusses verglichen werden.

Die Extreme der Schwankungskoeffizienten betragen

Buchsteg 1.32 und Hausen a. Albis 1.94.

Ein allgemeiner Zusammenhang der Größe der Schwankung mit der Niederschlagshöhe ergibt sich nicht. Stationen mit ungefähr gleichen Mittelwerten der Niederschlagshöhe und gleicher Meereshöhe können ganz verschiedene Schwankungen aufweisen.

Als Beispiel diene Stans und Sarnen.

Es tritt auch der Fall ein, daß Stationen gleiche Schwankungskoeffizienten besitzen, die nach Niederschlag und Meereshöhe sehr verschieden voneinander sind: Rigikulm, Zug und Gurtnellen.

Die Verteilung der Extreme auf die einzelnen Jahre der Periode weist natürlich die bei der Kleinheit des Untersuchungsgebietes zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten auf. Doch ist auch hier wieder derselbe Gegensatz zwischen dem noch unter südalpinem Einfluß stehenden zentralen Teil, den peripheren Alpengebieten und dem Mittelland festzustellen, wie er bei der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge hervortrat.

Die Niederschlagshöhen der extremen Jahre dürften aber wesentlich von lokalen Einflüssen bedingt sein, worauf die Gesetzlosigkeit in der Größe der Schwankungskoeffizienten hinweist.

9. Die Niederschlagsdichte.

Neben der Kenntnis der Mengen der Niederschläge und ihrer Zusammensetzung aus Regen und Schnee ist

auch die Intensität der Niederschläge von Bedeutung. Um über alle Einzelheiten der Art des Regens Aufschluß zu erhalten, wären die Aufzeichnungen von Registrierregenmessern erforderlich. Da solche für das Reußgebiet nicht erhältlich sind, so lassen sich die Vorgänge nur in groben Zügen behandeln.

Mit Hilfe der in den Annalen veröffentlichten Angaben läßt sich für die meteorologischen Stationen des Reußgebietes aus der Zahl der monatlichen Niederschlagstage und der Monatssummen der Niederschlagsmengen die monatliche Regendichte oder die Niederschlagsmenge pro Niederschlagstag berechnen. Dies wurde durchgeführt und in Tabelle No. 20 sind die Resultate zusammengefaßt. Bei der Berechnung wurden wie bei der Darstellung der Verteilung der Niederschlagstage nur Tage mit einer Summe ≥ 1 mm berücksichtigt. Da in den Annalen für die Stationen:

Zürich, Altdorf, Rigi-Kulm und St. Gotthard

die meteorologischen Beobachtungen in extenso veröffentlicht werden und demzufolge auch bei den Beobachtungsterminen angegeben ist, ob gerade Regen oder Schnee gefallen ist, so lassen sich diese Angaben mit Hilfe der *Köppen'schen* Methode noch weiter zur Untersuchung der Niederschlagsintensität verwenden.

Niederschlagsdichte.

Tabelle No. 20. (Mittel 1910—19).

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
Zürich	6.2	5.5	6.8	6.5	7.5	10.4	8.9	9.3	9.0	7.0	7.2	2.6	7.8
Muri	6.0	5.5	7.0	6.0	9.4	10.9	8.6	9.5	8.6	7.3	7.6	8.3	8.0
Walchwil	7.3	6.9	7.3	8.8	9.5	13.8	11.6	12.2	12.2	8.4	7.4	7.3	9.6
Luzern	5.8	6.0	6.8	7.0	9.4	11.2	11.3	10.8	10.9	7.2	6.6	6.8	8.6
Weggis	6.6	7.4	6.3	8.4	9.3	13.5	10.9	12.7	12.0	8.7	7.4	6.9	9.4
Rigi	11.5	11.5	11.5	14.5	12.8	18.5	16.8	18.7	17.0	12.5	12.5	12.8	14.5
Sarnen	6.3	5.5	6.3	7.3	7.7	10.8	9.9	9.9	9.0	7.6	6.3	6.5	8.1
Lungern	11.6	10.3	9.9	8.8	8.1	11.4	10.4	10.6	11.0	9.7	10.6	13.9	10.5
Engelberg	10.2	8.9	8.4	8.9	8.6	12.7	10.0	11.4	11.6	10.7	9.4	10.0	10.2
Altdorf	7.9	6.7	6.4	7.6	7.4	10.3	8.6	9.3	10.1	9.6	7.5	8.3	8.4
Gurtnellen	10.0	7.4	7.9	8.7	7.7	10.4	10.0	9.3	10.9	11.4	9.9	11.1	9.5
Göschenen	10.9	9.1	10.8	11.1	8.4	10.6	8.9	9.1	11.0	13.1	11.9	10.8	10.5
Andermatt	12.7	9.7	10.9	11.3	10.3	13.5	11.2	12.5	13.3	14.7	11.3	12.4	12.0
St. Gotthard	11.6	10.9	12.8	12.7	11.0	12.5	12.9	14.8	14.0	16.9	11.9	13.3	12.9

Die Zahl der Terminbeobachtungen mit Niederschlag wurde für diese 4 Stationen ausgezogen und mit ihrer Kenntnis und der, der monatlichen Niederschlagsmengen die Intensität pro Regenstunde für jeden Monat berechnet. Der letzte Schritt, der Vergleich dieser Resultate mit denen von Registrierinstrumenten, konnte nicht durchgeführt werden. Zürich wurde mangels anderer Stationen hier mitberücksichtigt und als maßgebend für das Mittelland betrachtet.

Die Tabelle der monatlichen Niederschlagsdichte, der Intensität oder Menge pro Niederschlagstag (Tage mit $N \leqq 1\,mm$), zeigt im allgemeinen ein Zusammenfallen der Extremwerte mit denen der Niederschlagsmenge. Bei einzelnen Stationen treten allerdings Verschiebungen auf, die aber ihren Grund in der Kürze der Untersuchungsperiode haben dürften. Mit diesem Uebereinstimmen der Extreme, das sich nach dem, bei der Verteilung der Niederschlagstage Gesagten erwarten ließ, geht natürlich die entsprechende Teilung nach Mittelland, Voralpentäler und Haupttal Hand in Hand.

Beachtenswert ist das neuerliche Anschwellen der Intensität nach dem Junimaximum und Abfall im Juli gegen den August, trotz durchgängig geringeren Niederschlagssummen, infolge der kurzen aber umso intensiveren Gewitterregen. Außer diesen durchgehenden Abweichungen kommt der Zusammenhang zwischen Regenmenge und Intensität deutlich zum Ausdruck.

Einen wesentlich tiefern Einblick in die Struktur der Niederschläge als die Niederschlagsmenge pro Niederschlagstag gibt die Untersuchung über die Intensität pro Niederschlagsstunde[77]). Die Berechnung wurde folgendermaßen durchgeführt: Zugrundegelegt wurden die 10-jährigen Mittelwerte der Zahl der Terminbeobachtungen mit Niederschlag, nach Monaten getrennt. Ihr 8facher Betrag ergab[78]) die wahrscheinliche Gesamtdauer der Niederschläge oder die Zahl der Niederschlagsstunden, wobei Niederschlagsstunde in gleichem Sinne wie Niederschlagstag gebraucht ist, also einfach Stunde mit Niederschlag, gleichgültig, wie lange es während der Stunde geregnet hat. Bei der Division der Monatsmenge durch

[77]) J. Hann: Lehrbuch der Meteorologie. 3. Auflage, Leipzig 1915, S. 324.

[78]) H. Gravelius: Ueber Niederschlagsdauer und Niederschlagsdichte. Zeitschr. für Gewässerkunde. Bd. VIII, 1907.

die so erhaltenen Zahlen bekommt man die mittlere Niederschlagshöhe oder Intensität während einer Niederschlagsstunde.

Die Werte für die vier Stationen, deren Angaben zur Verfügung standen, sind im Folgenden zusammengestellt:

Tabelle No. 21.

Mittlere Niederschlagshöhe pro Niederschlagsstunde in mm.

Mittel 1910—1919

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
Zürich	0.64	0.67	0.69	0.69	1.03	1.56	1.39	1.91	1.20	0.90	0.86	0.81	0.99
Altdorf	0.69	0.56	0.60	0.60	0.67	0.99	0.98	0.97	0.91	0.80	0.73	0.78	0.78
Rigi	1.28	1.39	1.25	1.39	1.64	2.66	2.55	3.28	2.06	1.66	1.42	1.33	1.79
St. Gotthard	1.07	1.02	1.33	1.21	1.41	1.76	2.54	2.46	1.75	1.64	1.09	1.25	1.43

Diese Zahlenreihen zeigen einen ruhigeren Verlauf als die der Regendichte pro Regentag. Es treten nicht mehr alle Maxima der Verteilung der Niederschlagsmengen hier auf. Die Zahlenreihe für Zürich zeigt einen ununterbrochenen Anstieg gegen den Juni, den regenreichsten Monat, sinkt gegen den Juli ab, und erreicht im August mit seinen kurzen, intensiven Gewitterregen ihr Maximum, um vom August weg wieder stetig gegen den Januar abzufallen. Die Altdorferreihe ergibt ebenso einfachen Verlauf: vom Minimum im Februar Anstieg bis zum Maximum im Juni und dann Abfall bis November, mit einer kleinen Anschwellung im Dezember und erneutem Abfall zum Minimum. Die geringe Gewitterhäufigkeit dieses Talabschnittes vermag keinen Anstieg im August auszulösen. Die Reihe der Station Rigi-Kulm mit dem Intensitätsminimum im März zeigt ein erstes Maximum im Juni und das Hauptmaximum in dem nur wenig regenärmeren August, wohl wieder durch Gewitterregen bedingt, und dann einen kontinuierlichen Abfall gegen den Januar, um im Februar erneut anzuschwellen. St. Gotthard besitzt das Hauptmaximum im Juli, ein sekundäres im Dezember, ein Minimum im Februar. Der Niederschlagsreichtum des Oktobers ist also durch langandauernde, jedoch wenig intensive Niederschläge bedingt. Der März zeigt gegen-

über dem Februar und April ein stärkeres Anschwellen, aber auch diese Regen sind weniger ausgiebig als die Sommerregen.

Alle Stationen besitzen die Maxima im Sommer, im regenreichsten oder im gewitterreichsten Monat, während die Niederschläge der übrigen Jahreszeiten gegenüber dem Sommer nur schwächere, viel weniger intensive Regen aufweisen. Die stündliche Niederschlagshöhe beträgt, mit Ausnahme der Station Altdorf, im Sommer das 2—2,5fache des Winters.

Dritter Teil.

Die Abflußverhältnisse.

1. *Das Beobachtungsmaterial.*

Als Grundlage für die Darstellung der Abflußverhältnisse im Reußgebiete dienten die durch das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft an den Pegelstationen gemachten Erhebungen. Die Darstellung beschränkt sich auf die Stationen, für welche die täglichen Abflußmengen vorliegen, da von einer Mitverwendung der Pegelstände abgesehen wurde. Die Veränderungen der Durchflußprofile sind so groß, daß nur oft wiederholte Wassermengenbestimmungen eine Homogenität des Materials gewährleisten. Eine Verwendung der Pegelstände verbietet sich daher von selbst.

War ursprünglich beabsichtigt, der Untersuchung den Zeitraum 1909/10—1918/19 zu Grunde zu legen, für den in: *Die Wasserkräfte der Schweiz, B: Die Wassermengen,* die Abflußmengen der Hauptpegelstationen mitgeteilt werden, so mußte im Verlaufe der Arbeit diese Absicht aufgegeben werden, da wie schon (S. 8) erwähnt, jene Zahlenwerte den neuen Anforderungen betreffs Genauigkeit nicht durchgehend standhalten. Daher erwies sich eine Beschränkung auf den Zeitraum 1914/15—1918/19 als notwendig. Nur wenn es auch nach den neuesten Erfahrungen angängig erschien, wurden die Zahlenwerte der oben erwähnten Veröffentlichung mitverwendet. So konnte die Untersuchung der Abflußverhältnisse des Gesamtgebietes an Hand der Zahlen der Station Mellingen auf die ganze Periode ausgedehnt werden.

Die Wassermengen der Hauptpegelstationen sind seit 1914 veröffentlicht in: *Graphische Darstellungen der Schweiz. Hydrometrischen Beobachtungen,* seit 1917 im: *Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz,* herausgegeben vom Amt für Wasserwirschaft des Eidgenössischen Departements des Innern.

Das Amt hatte die Freundlichkeit, auch nicht veröffentlichte Stationsbeobachtungen und jene von 1918 und 1919 zur Verfügung zu stellen.

Unsere Untersuchung bezieht sich also auf folgende Wassermeßstationen*):

I. Reuß bis Vierwaldstättersee:
Andermatt, Seedorf (Reuß)

II. Reuß bis zur Kleinen Emme:
Büren (Engelbergeraa), Sarnen (Sarneraa)

III. Reuß bis Mellingen:
Werthenstein (Kleine Emme), Mellingen (Reuß)

2. *Die Meßstellen.*

A. Andermatt. Reuß, Einzugsgebiet = 191.51 km². Meßprofil 130 m oberhalb Brücke zur Bühlkaserne. Seit 1910 Ablesungen am Pegel des Meßsteges, vorher an der Brücke. Limnigraph. Im Winter eventuell tägliche Pegelablesungen. Ein Wasserverlust durch Grundwasser ist bei dem in den anstehenden Fels eingeschnittenen Bett nicht zu befürchten. Die täglichen Abflußmengen 1914/15 — 1918/19 wurden zur Herleitung der Dauerkurve verarbeitet.

B. Seedorf. Reuß, E = 832.25 km². Meßprofil 5 m oberhalb Straßenbrücke Altdorf-Flüelen-Seedorf. Pegelablesungen 1 mal täglich. Dauerkurve für 1914/15 — 1918/19**). Seedorf, auf der Alluvialebene der Reuß gelegen, kann infolge des sehr beträchtlichen Grundwasserstroms nicht die wirklich dem See zufließenden Wassermengen ergeben (vergl. S. 14). Im Auftrage des Amtes für Wasserwirtschaft hat J. Hug[79]) die Verhältnisse des sichtbar abfließenden Grundwassers untersucht. Danach wird ein Teil durch den vorwiegend undurchlässigen Schächenbachschuttkegel gezwungen, sich wieder als Stille Reuß in den Hauptfluß zu ergießen, während ein anderer Teil sich unterhalb des Schuttkegels im Gießen sammelt und von der Reuß getrennt dem See zufließt. Der Rest verteilt sich auf einen Quellbach, der längs der Straße Altdorf-Flüelen verläuft, und auf die Grundwasseraufstöße auf dem linken Ufer bei Attinghausen-Seedorf, die ebenfalls selbständig in den See münden. Zum Vergleich der

*) Eine vollständige Zusammenstellung der Pegelstationen des Reußgebietes mit Angaben betreffs Ausrüstung, Lage, Wassermengenbestimmungen findet sich im Hydrographischen Jahrbuch 1917, die Angaben betr. Versicherung des Pegelnullpunktes etc. in: Die Wasserverhältnisse der Schweiz, Reußgebiet von den Quellen bis zur Aare. Zweiter Teil: Die Pegelstationen.

**) Vorübergehend wurden für das Kraftwerk Amsteg auch Messungen in Göschenen, Wassen und Amsteg gemacht. Station Altdorf-Schächenbach mußte wegen ungünstiger Lage aufgegeben werden. Die Stationen Husen-Meienreuß und Hinterbristen-Kärstelenbach konnten aus früher angegebenen Gründen nicht verarbeitet werden. Damit fiel eine Untersuchung der Teilgebiete dahin.

[79]) J. Hug: Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Annalen Schweiz. Landhydr. Bern 1918. S. 135.

Reußwassermengen (Seedorf) mit diesen Grundwasseraufstößen mit eigener Mündung seien die folgenden Zahlen zitiert[80]):

	Reuß:	Grundwasser:	Gw. in % von R.
Februar 1917	7,1 m³/sec.	0,7 m³/sec.	ca. 10 %
Juni 1916	101,4 m³/sec.	2,4 m³/sec.	ca. 2,4 %

Der Anteil des sichtbar abfließenden Grundwassers schwankt also zwischen 10 % bei Niederwasser und 2,4 % bei Hochwasser. Rechnen wir in erster Annäherung mit dem Mittel dieser beiden Zahlen als durchschnittlichem Jahreswert, so ist zu den Ergebnissen der Station Seedorf ein Zuschlag von 6 % zu machen, um den Gesamtbetrag der dem See oberflächlich zuströmenden Wassermengen zu erhalten, was bei den Ergebnissen dieser Station jeweils zu berücksichtigen ist.

C. Büren. Engelbergeraa, E = 219,15 km². Meßprofil seit 1916 an der Straßenbrücke nach Büren, früher flußabwärts an der Wilerbrücke. Pegelablesungen 3 mal täglich. Wassermengen für 1916/17 bis 1918/19. Ähnliche Grundwasserverhältnisse wie Seedorf. Die Notwendigkeit der Verbauung des Flußbettes zur Verhinderung der Verwüstung des Talbodens durch die große Geschiebeführung macht eine starke Veränderlichkeit des Durchflußprofils wahrscheinlich.

D. Sarnen-Rathaus, Sarneraa, E = 267,49 km². Meßprofil 20 m oberhalb der Brücke, an der im Winter 1 mal und im Sommer (1. IV. – 30. X.) 3 mal täglich abgelesen wird. Dauerkurve für 1914/15 bis 1918/19. Wenig veränderliches Durchflußprofil ohne Geschiebeführung des Flusses. Eventuell ist mit Wasserverlust der Melchaa an den Grundwasserstrom ihres Schuttkegels und mit direktem Zufluß in den Alpnachersee zu rechnen.

E. Luzern, Vierwaldstättersee. Für die Luzerner Stationen liegen keine vollständigen Abflußmengenbestimmungen vor, eine Untersuchung des Seeabflusses war deshalb nicht möglich. Die natürliche Wasserspeicherung des Sees wird durch ein Nadelwehr künstlich gefördert, dessen Bedienung durch ein Reglement vom 27. Juni 1867 geregelt ist[81]).

[80]) Messungen des Amtes für Wasserwirtschaft von 1916/17. Die Zahlen sind durch Subtraktion der Wassermenge der Stillen Reuß von den Gesamtmengen des Talstückes Erstfeld-Flüelen entstanden.

[81]) Die Wasserverhältnisse der Schweiz. Reußgebiet von den Quellen bis zur Aare, II. Die Pegelstationen. 2. Hälfte. Bern 1905. Die Hauptbestimmungen lauten: § 2. Bei Regulierung der Schwellwerke soll als Regel gelten, die Seestände möglichst tief zu halten. Die Schleusen dürfen geschlossen bleiben, so lange . . . . . der Pegel neben dem Stadttheater nicht weniger als 4 Fuß 94 Linien zeigt. (Diesem Pegelstand entspricht eine Meereshöhe von 436,44 m, bezogen auf R. P. N. 376,86 m). § 4. Im Fall, daß das dem See entströmende Wasserquantum noch durch eine Anschwellung der Emme so wesentlich vermehrt wird, daß eine Gefährde der untern Reußgegenden sichtlich zu besorgen ist, so soll die Regierung von Luzern berechtigt sein, während der gewöhnlich kurzen Dauer der Hochwasserstände der Emme mittelst des Wehres den Seeausfluß in erforderlichem Maße zu beschränken. Diese Einschränkung soll im Maximum 4000 Kubikfuß per Sekunde nicht überschreiten und jeweils nicht länger als 24 Stunden dauern.

Die festgesetzte Minimalhöhe entspricht einem Pegelstand von 6,87 m am Pegel beim Stadttheater. Im Verlaufe der Untersuchungsperiode ist dieser Pegelstand nur während außerordentlich kurzer Zeit, gewöhnlich im Februar oder März erreicht oder unterschritten worden.

F. Cham, Zugersee. Auch hier fehlen Abflußmengenbestimmungen. Der Ausfluß wird durch eine Wehranlage reguliert*).

G. Werthenstein-Ringei, Kleine Emme, E = 354,86 km². Bis 1916 ein Pegel 46 m oberhalb des Steges, seither 10 m unterhalb ein Limnigraph. Dauerkurve 1914/15—18/19. Das Flußbett ist schluchtartig in starkverkittete Nagelfluh und Molasse eingetieft, daher ist kaum mit großem Wasserverlust an das Grundwasser zu rechnen.

H. Mellingen, Reuß. E = 3382,27 km². Limnigraph und Pegel am Pfeiler der Straßenbrücke. Dauerkurve für 1914/15—18/19 und 1909/10—18/19. Das Flußbett ist durch die diluvialen Schotter hindurch bis auf die anstehende Molasse eingetieft[82]).

3. *Die Phasen und Bereiche der Wasserführung.*

Bei der Untersuchung der Wasserführung der Reuß und ihrer Zuflüsse interessierten uns:

1. die absoluten, durch die Meßprofile gewälzten Mengen, welche zu einem Vergleich mit den entsprechenden Niederschlagsmengen dienen sollten;
2. der Spielraum, innerhalb dessen die Wassermengen im Verlauf der Untersuchungsperiode schwankten;
3. die zeitliche Aufeinanderfolge bestimmter Mengen, die in den folgenden Abschnitten noch zu definieren sind;
4. die Dauer dieser Mengen;
5. Eventuelle jahreszeitlich wiederkehrende Perioden des Abflußvorganges.

Wir stellen zuerst in der folgenden Tabelle die Extremwerte der Wasserführung an den Pegelstationen zusammen, um über das Ausmaß des Veränderlichkeitintervalles, des absoluten Spielraumes, Aufschluß zu bekommen. Dabei bedeuten die eingeklammerten Zahlen absolute Extreme in m^3/sec., den Limnigraphenaufzeichnungen entnommen oder durch die

*) Der Seeausfluß kann zu Fabrikzwecken während der Nacht oder über Sonntag gänzlich oder bis zu einem geringen Bruchteil unterbrochen werden. Während dieser Zeit führt die Lorze Grundwasser der Schotterebene zwischen Reuß und Lorze. Für 1918 betrug der Anteil der Lorze an der Gesamtwasserführung der Reuß in Mellingen 6 m^3/sec bei total 132 m^3/sec.

[82]) Für die übrigen Stationen des Unterlaufs liegen keine Wassermengenbestimmungen vor oder die Stationen sind wie Gisikon wieder aufgegeben worden, oder ihre Resultate sind wie bei Mühlau-Fähre (seit 1915) durch das Grundwasser beeinflußt. Dieser Grund gilt auch für Frauental-Lorze, wo zudem das Wehr von Cham einwirkt.

direkten Beobachtungen erhalten, während die übrigen Zahlen Tagesmittel darstellen. Das Ausmaß dieser Extremwerte ist natürlicherweise von der Länge der Untersuchungsperiode abhängig. Je länger die Periode, umso wahrscheinlicher wird eine Vergrößerung des Spielraumes.

Spielraum der Wasserführung in m^3/sec.

Meßstelle	Minimum	Maximum	Max./Min.	Periode
Andermatt	1.06 (0.93)	203 (422)	191 (454)	1914/15 18/19
Seedorf	5.0 (5.0)	324 (557)	65 (111)	„
Sarnen	2.0 (2.0)	35.1 (37.1)	18 (19)	„
Werthenstein	1.0 (1.0)	165.7 (287.4)	166 (287)	„
Mellingen	31.6 (29.0)	437.5 (489.5)	14 (17)	„
„	25.8 (25.8)	647.2 (647.2)	25 (25)	1909/10—18/19

Die Zahlenwerte lassen erkennen, wie mit zunehmender Größe des Einzugsgebietes das Verhältnis von Max./Min., der Schwankungskoeffizient, abnimmt. Je größer das Gebiet, umso ausgeglichener die Wasserführung. Dabei drückt ein weiterer Umstand den Koeffizienten für Mellingen noch mehr herab. Es ist die ausgleichende Wirkung der in den Reußlauf eingeschobenen Seen. Der Seeinfluß ist schon hier deutlich durch den Vergleich der Stationen Sarnen und Andermatt zu beobachten. Obwohl das Einzugsgebiet der Sarneraa nur um ca. $^1/_4$ größer ist als das der Reuß bei Andermatt, so erhalten wir für die Station Sarnen einen mehr als 10mal kleineren Schwankungskoeffizienten.

Der See verkleinert den Spielraum der Wassermengen.

Die absoluten Maxima von Seedorf und Mellingen zeigen, daß in Seedorf die Reuß eine größere sekundliche Wassermenge durch das Meßprofil wälzen kann, allerdings nur für kurze Zeit, als in Mellingen. Ja, Andermatt kommt sogar dem Maximalwert von Mellingen nahe. Noch deutlicher tritt der Einfluß beim Vergleich der Tagesmaxima mit den absoluten Größtmengen hervor. Unterscheiden sich die beiden Werte für Andermatt noch um das Doppelte, so beträgt der Unterschied für Sarnen noch ca. 6 %.

Die große Differenz zwischen dem Maximum des Tagesmittels und absolutem Größtwert, welche im Gegen-

satz steht zu dem verschwindenden Unterschied zwischen dem Minimum des Tagesmittels und absolutem Kleinstwert beweist, daß die Minima im Verlaufe eines länger andauernden Beharrungszustandes auftreten, während die Maxima einen rasch vorübergehenden Ausnahmezustand darstellen, wenn ihnen nicht durch den Seeeinfluß (vergl. Sarnen) auch eine gewisse Dauer verliehen wird.

Bei der Kürze der Untersuchungsperiode erschien es nicht angebracht durchwegs diese Extremwerte zur Beurteilung der Wasserführung heranzuziehen, wie es nach den Vorschlägen der Hydrographischen Aemter hätte geschehen müssen[83]) und es von *Gravelius* in zahlreichen Arbeiten ausgeführt wurde[84]). Nur für die Station Mellingen, wo für 10 Jahre einwandfreie Abflußmengen bekannt waren, wurde diese Methode verwendet. Für die übrigen Stationen mit kürzeren Beobachtungsreihen gaben die mittleren Jahresabflußmengen[85]) die Grundlage der weiteren Untersuchungen. Für Mellingen lassen sich die beiden Methoden vergleichen.

Bezeichnen wir diese Menge allgemein mit Q_m, so errechnet sich aus ihnen nach der Methode von *Fischer*[86]) die Grenzen des Mittelwasserbereiches nach der Formel:

$$\frac{Q_m}{2} = \text{untere Grenze und } 2\,Q_m = \text{obere Grenze.}$$

Nach den Vorschlägen der Hydrographischen Aemter von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz sind folgende Formeln zu verwenden:

$$^1/_2\,(Q_{min} + Q_m) = \text{untere Grenze,}$$
$$^1/_2\,(Q_m + Q_{max}) = \text{obere Grenze,}$$

wobei Q_m, Q_{min}, Q_{max} Mittelwerte sind, die auf einem mindestens 10-jährigen Zeitraum beruhen[87]).

---

[83]) H. Gravelius: Flußkunde. Bd. I. Berlin 1914. S. 91.

[84]) „ : Ueber die Wasserführung der Flüsse. Ztschr. Gew. Kde. IX. 1910. S. 254.

[85]) Quotient aus Gesamtabfluß durch Dauer der Periode pro Sekunde. Gravelius braucht für diese vom Schweiz. Amt für Wasserwirtschaft benützte Bezeichnung den Begriff: Mittlere Wassermenge (Flußkunde, S. 118). Fischer den Namen Abflußmittel (Thur und Glatt. S. 100).

[86]) Fischer, a. a. O. S. 100.

[87]) Gravelius, a. a. O. S. 91. Die dort gebrauchten mittleren Pegelstände sind sinngemäß durch die entsprechenden mittleren Wassermengen ersetzt.

Für das Reußgebiet lauten die entsprechenden Zahlen:

Mittlere Jahresabflußmengen und Grenzen des Mittelwasserbereiches.

	Mittlere Jahresabflußmengen m³/sec	untere Grenze m³/sec	obere Grenze m³/sec	Zeitintervall
Andermatt	11.71	5.86	23.42	1914/15 18,19
Seedorf	45.56	23.28	93.12	„ „
Büren	13.48	6.74	26.96	1916/17—18/19
Sarnen	10.58	5.29	21.16	1914/15—18 19
Werthenstein	14.18	7.09	28.36	„ „
Mellingen	146.06	73.03	292.12	„ „
„	146.93	73.47	293.86	1909/10—18/19
Bei Berücksichtigung der mittleren Extremwerte betragen die Werte für:				
Mellingen	146.93	91.205	301.035	1909/10—18/19

Aus den Dauerkurven der Stationen läßt sich mit diesen Grenzwerten in einfacher Weise die Dauer der Bereiche der Wasserführung ermitteln. Die Dauerkurven der Stationen wurden konstruiert durch Auszählen der Häufigkeit bestimmter Abflußmengen, wobei beim Zeichnen die Häufigkeiten des Auftretens dieser Mengen ohne Rücksicht auf ihre zeitliche Aufeinanderfolge aneinandergereiht werden. Dabei trug man die Zeitdauer als Abszisse, die Wassermengen als Ordinaten auf. (Vergl. Figur im Anhang). In Tabelle No. 22 sind die Ergebnisse über die Größe und die Dauer des Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereiches zusammengestellt.

Tab. No. 22 *Bereiche der Wasserführung.*

Station	Phasen	Grenzen in m³/sec untere	obere	Dauer in Tagen pro Jahr	Periode
Andermatt	Niederw.	0.93	5.86	186	
	Mittelw.	5.86	23.42	114	1914/15—18/19
	Hochw.	23.42	422	65	
Seedorf	Niederw.	5.0	23.28	169	
	Mittelw.	23.28	93.12	132	„
	Hochw.	93.12	557	64	
Sarnen	Niederw.	2.0	5.29	89	
	Mittelw.	5.29	21.16	245	„
	Hochw.	21.16	37.1	31	
Werthenstein	Niederw.	1.0	7.09	143	
	Mittelw.	7.09	28.36	175	„
	Hochw.	28.36	287.4	47	
Mellingen	Niederw.	29.0	73.03	106	
	Mittelw.	73.03	292.12	240	„
	Hochw.	292.12	489.5	19	
Mellingen Methode Fischer 1909/10–18/19	Niederw.	29.0	73.47	103	
	Mittelw.	73.47	293.86	242	1909/10–18,19
	Hochw.	293.86	647.2	20	
Mellingen Amtliche Methode 1909/10—18/19	Niederw.	29.0	91.21	140	
	Mittelw.	91.21	301.04	209	„
	Hochw.	301.04	647.2	16	

Der Vergleich der 5- und 10-jährigen Mittelwerte für Mellingen zeigt, wie wenig diese Zahlen voneinander abweichen. Demzufolge dürfte es gestattet erscheinen, in erster Annäherung auch die 5-jährigen Mittelwerte der übrigen Stationen zur Beurteilung des durchschnittlichen Verlaufes des Abflußvorganges heranzuziehen. Die Extremwerte lassen erkennen, wie mit der Verlängerung des Zeitintervalles auch der absolute Spielraum außerordentlich zunimmt. In Bezug auf die Ergebnisse der beiden Methoden zur Festlegung des Mittelwasserbereiches läßt sich sagen, daß die amtliche Methode eine starke Verminderung der Dauer dieses Bereiches zu Gunsten des Niederwasserbereiches, ergibt. Es vermag auch noch bei der Mittelbildung ein außerordentliches Hochwasser den Hochwasserbereich um einige Tage zu verkürzen. Bei der Methode *Fischer* haben diese Ausnahmefälle wenig Einfluß auf das Durchschnittsverhalten. Bei ihrer Verwendung weichen dementsprechend die Dauerzahlen für 5 und 10 Jahre nur sehr wenig voneinander ab.

Ueberblicken wir die Tabelle, so lassen die Stationen der Reuß mit aller Deutlichkeit erkennen, wie der Mittelwasserbereich flußabwärts auf Kosten des Nieder- und Hochwasserbereiches zunimmt, wie die Wasserführung ausgeglichen wird. Dieser Ausgleich läßt sich nicht einzig durch das größere Einzugsgebiet und damit durch die vom Hochgebirge abweichenden Temperaturverhältnisse des Mittellandes erklären, sondern sind wesentlich das Werk der im Flußsystem eingeschalteten Seen.

Die Wirkung dieser wasserspeichernden Seen zeigt sich sehr deutlich beim Vergleich der Stationen des obern Reußtales mit Sarnen. Trotzdem Seedorf ein ca. 3mal größeres Einzugsgebiet besitzt als Sarnen, hat diese Station im 5-jährigen Durchschnitt 113 Tage länger Mittelwasser. Etwas groß erscheint in der Tabelle der Unterschied in der Dauer des Hochwasserbereiches für Sarnen und Mellingen, wobei der Grund bei Sarnen darin liegen dürfte, daß sich die Hochwasserwellen der nahe bei ihrem Ausfluß mündenden Gr. Melchaa sehr rasch in Sarnen bemerkbar machen, und sich die ausgleichende Wirkung des Sees weniger beim Eintritt der Hochwässer als beim Ausklingen zeigt.

Die Zahlen der Station Werthenstein 143 für N.-W. und 175 für M.-W. könnten zum Schluß verleiten, daß eine sehr ausgeglichene Wasserführung anzutreffen sei.

Die späteren Ausführungen werden aber zeigen, daß dieser Schluß nur scheinbar richtig ist und mit der Konstruktionsart der Dauerkurve zusammenhängt, bei der nur auf die Größe der Wassermengen, nicht aber auf die zeitliche Aufeinanderfolge Rücksicht genommen wird. Dadurch ist sie, so wenig wie die früher allein verwendeten Mittelwerte der Pegelstände oder Wassermengen im Stande, die Wasserführung eines Flusses ausreichend zu kennzeichnen, obwohl sie schon bedeutend mehr Einblick in den Verlauf dieses Vorganges ermöglicht als die Mittelwerte allein.

Versuchen wir die Speicherwirkung des Vierwaldstättersees zahlenmäßig zu erfassen, so stehen uns folgende Angaben zur Verfügung:

Extreme Spiegelstände des Vierwaldstättersees.

	Höchster Stand			Tiefster Stand			Schwankung
	Brunnen	Luzern Theater	Luzern Seebrücke	Brunnen	Luzern Theater	Luzern Seebrücke	
1914	1.73 m	8.01 m		0.45 m	6.80 m	—	124.5 cm
1915	1.40 „	7.68 „	—	0.42 „	6.78 „	—	96.0 „
1916	1.75 „	—	1.73 m	0.56 „	—	0.52 m	120.0 „
1917	1.59 „	—	1.56 „	0.35 „	—	0.34 „	123.0 „
1918	1.88 „		1.85 „	0.56 „		0.35 „	131.0 „
						Mittlere Schwankung	118.9 cm

Bei einer Oberfläche von 115.8 km² entspricht einer Hebung des Seespiegels um 1 cm eine Aufspeicherung von 1.158 Mill. m³. Der mittleren Hebung von 118.9 cm im Mittel der 5 untersuchten Jahre demnach eine Ansammlung von 138 Mill. m³. Für die gleichen 5 Jahre betrug die mittlere jährliche Gesamtabflußmenge des Reußgebietes, berechnet nach den Angaben der Station Mellingen, 4866.4 Mill. m³ (Kalenderjahr). Die maximale Speichermenge entspricht demnach 2.8 % der gesamten abgeflossenen Wassermasse.

Bei der Aufspeicherung in den Seebecken unseres Gebietes ist zu beachten, daß der Tiefstand der Seen gewöhnlich im Februar oder März eintritt. Mit Beginn der Schneeschmelze füllen sich die Becken an und sind bei Eintritt der sommerlichen Hochwasser zum größten Teil angefüllt, sodaß ihre Speicherwirkung nicht ganz ausgenützt werden kann. Die obigen Zahlen über das Aufspeicherungsvermögen sind demnach für den Sommer eher als zu groß zu betrachten.

Doch ist auch eine nur teilweise Zurückhaltung der Wassermassen in den Seen von großem Vorteil; dadurch wird erreicht, daß nicht die Hochwasser des gesamten Reußgebietes auf einmal durch den Unterlauf abgeführt werden müssen. Die Hochwasserwelle des Entlebuch ist zum Beispiel in Mellingen schon vorüber, wenn der Höchststand des Vierwaldstättersees eintritt.

Der maximale Stand am Pegel Mellingen wird deshalb gewöhnlich zwei bis drei Tage früher verzeichnet als in Luzern der Höchststand des Sees erreicht wird. In dieser Verteilung des Abflusses auf längere Zeit liegt der Hauptvorteil der Seen. Das Schleußenreglement von Luzern nimmt darauf Rücksicht. (Vergl. S. 85).

Um diese Tatsachen mit Zahlen zu belegen, seien dem Werke von *M. v. Tein*[88]) noch folgende Angaben entnommen:

Bei Voraussetzung eines sekundlichen Zuflusses von 100 m^3 entspricht dieser Wasserzufuhr eine Hebung des Spiegels des Vierwaldstättersees um 8 cm in 24 Stunden. Die Zeit, die für den vollständigen Abfluß dieser Menge benötigt wird, beträgt 12 Tage.

Als Mittelwerte über Ansammlung und Abgabe gelten für die Periode 1881—1900 folgende Zahlen:

Dauer der Ansammlung: 159 Tage pro Jahr
Dauer der Abgabe: 206 „ „ „

Für den Zugersee entspricht dem Steigen um 1 cm eine Ansammlung von 0,39 Mill. m^3. Die durchschnittliche Gesamtdauer

der Ansammlung: 125 Tage pro Jahr
der Abgabe: 240 „ „ „ (1881—1900)

4. *Die Veränderungen der Wasserführung und die Veränderlichkeitsperioden.*

Um in den zeitlichen Verlauf des Abflußvorganges während eines Jahres besser Einblick zu erhalten, als nur durch die Dauerkurve der Jahre, haben wir nach einem Vorschlage *Gravelius'* die Konstruktion der Abflußfläche durchgeführt[89]).

---

[88]) M. v. Tein: Der Abflußvorgang des Rheines unter der wechselnden Wasserlieferung der Stromgebiete.
Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Heft 8 Berlin 1908.

[89]) H. Gravelius: Die Abflußflächen d. Elbe bei Tetschen. Ztschr. f. Gew. Kde. Bd. IX, 1910, S. 246.

Die zur Herleitung der Dauerkurve notwendigen Häufigkeitszahlen der Wassermengen wurden von vornherein für die Einzelmonate getrennt erhoben und für die 5jährige Periode gemittelt. Damit ließen sich Dauerkurven für die einzelnen Monate zeichnen, wobei die absolute Dauer in Tagen in % der Monatslänge umgerechnet wurde, um die ungleiche Länge der Monate zu eliminieren. Denkt man sich diese 12 Dauerkurven der Einzelmonate nebeneinander gebracht und in gleichen Abständen angeordnet, so kann man sie als Profildarstellung einer Fläche ansehen. *Gravelius* prägte für diese den Namen Abflußfläche. Entsprechend der Isohypsendarstellung topographischer Flächen, wo der Verlauf bestimmter Höhenlinien in der Horizontalprojektion gezeichnet wird, läßt sich die Abflußfläche darstellen durch Linien gleicher Wasserführung, Isoplethen, die in entsprechender Weise in der Horizontalprojektion gezeichnet werden. Zu jeder Wassermenge läßt sich dann sofort ihre Dauer für die einzelnen Monate ablesen und damit die Entwicklung des Abflußvorganges von Monat zu Monat verfolgen. Die gleiche Konstruktion ist natürlich auch verwendbar zur Darstellung der Veränderung der Wasserführung von Jahr zu Jahr. Bei der Kürze der Periode wurde davon abgesehen, für die 5 Jahre eine entsprechende Darstellung zu geben. Die Fläche der Station Büren wurde von der Diskussion ausgeschlossen, weil nur 3 Jahre zur Verfügung standen.

Um die Darstellung noch zu verdeutlichen, sind die früher ermittelten Grenzen des Mittelwasserbereiches und die mittlere Jahresabflußmenge eingezeichnet. Die besonderen Eigentümlichkeiten der Stationen, an Hand dieser Grenzlinien beschrieben, sind in Kürze folgende:

A. Andermatt: Die Grenzlinien des Mittelwasserbereiches sind nicht geschlossene Linienzüge, daher lassen sich ausgesprochene Niederwasser- und Hochwassermonate mit bestimmter zeitlicher Lage im Abflußjahr erkennen. Im März herrscht extremstes Niederwasser (winterlicher Beharrungszustand), dann folgt mit beginnender Schneeschmelze ein Anschwellen des Flusses, das sich im Mai verstärkt ($^1/_4$ des Monats H. W.). Schon im Juni ist nach unvermittelt raschem Anstieg mit beendigter Schneeschmelze das Maximum erreicht ($^1/_5$ des Monats H. W.). Der Rückgang erstreckt sich bis wieder zum März, verlangsamt durch Schmelzwasser der Gletscher, vorübergehende Tauperioden zu Beginn des Winters und langsame Erschöpfung des Wasservorrates des Bodens.

B. Seedorf: Aehnlicher Verlauf wie in Andermatt, bei größerem Spielraum und bedeutenderen Wassermengen, entsprechend dem größeren Einzugsgebiet. Wieder sind die Grenzlinien unterbrochen,

damit ebenfalls Trennung von H. W. und N. W. Monaten. Das Minimum der Wasserführung liegt im Februar, wegen der Tauperioden des tiefen Haupttales um einen Monat früher. Das Maximum wieder im Juni, gefolgt von dem Rückgang, der im Dezember und Januar vorübergehend unterbrochen wird (Tauperioden bei Föhn); aber immer noch ist der Rückgang langsamer als der Anstieg.

C. Mellingen: zeigt den Unterbruch der Grenzlinien ebenfalls, wobei aber die H. W.-Grenze auch im Dezember überschritten werden kann. Das Minimum der Wasserführung liegt im Februar, da ein Teil des Einzugsgebietes tief liegt. Kein ausschließliches N. W.; es wird sogar das Jahresabflußmittel erreicht. Dann folgt der Anstieg bis zum Juli; der Vierwaldstättersee verzögert das Maximum um einen Monat. Ihm schließt sich ein Abflauen an, bis im Dezember neuerdings H. W. und damit ein sekundäres Maximum eintritt, dem im Februar das Minimum folgt. Hatte sich bei Andermatt und Seedorf die Unterbrechung des Rückganges der Wasserführung nur im Kurvenverlauf, nicht aber in den absoluten Wassermengen bemerkbar gemacht, so sind in Mellingen auch diese im Dezember gegenüber dem November vergrößert; immerhin zeigt die mit Andermatt und Seedorf gleichsinnige Vermehrung der Häufigkeit der kleinsten Mengen die Raschheit im Vorübergehen der möglichen Hochwässer und das für alle Reußstationen charakteristische Streben nach einem winterlichen Beharrungszustand. Da in Mellingen sämtliche Einflüsse der Teilgebiete zusammenwirken, fassen wir die bisherigen Ergebnisse kurz zusammen:

Die ausgesprochene Periodizität der Wasserführung an den hochalpinen Pegelstationen tritt in Mellingen nicht mehr mit der gleichen Schärfe auf. Es gibt keine ausschließlichen N.W.- und H.W.-Monate mehr, nur Monate mit vorherrschendem N.W. oder H.W. Der winterliche N.W.-Beharrungszustand hat einem viel unruhigeren Abflußvorgang Platz gemacht.

Wir betrachten noch Sarnen und Werthenstein, für die ebenfalls fünfjährige Beobachtungsreihen vorlagen.

D. Sarnen: kennzeichnet die Verhältnisse der Voralpen und die Beeinflussung des Abflusses durch einen See, wobei sich allerdings bei der Lage der Mündung der Melchaa eher ein verlangsamtes Abnehmen der Wassermengen als ein verzögerter Höchststand ergibt. Immer noch finden wir einen Unterbruch der Grenzlinien, also Monate ohne H.W. oder ohne N.W., aber genau wie in Mellingen einen deutlichen Unterbruch des Rückganges im Dezember mit H. W. Im Februar tritt das Minimum auf. Der Anstieg zum ersten Maximum ist schon im Mai mit dem früheren Ende der Schneeschmelze beendigt. Der Abstieg folgt rasch, nicht durch die Wasserlieferung der Gletscher verzögert. Die sommerlichen Gewitter vermögen kurze Anschwellungen zu erzeugen. Im September wird ein sekundäres Minimum erreicht, gefolgt von einem Anschwellen im Oktober und neuem Rückgang, bis im Dezember und Januar Unterbrechungen mit H.W. erfolgen, durch Tauperioden und eventuelle Regenfälle der tieferen Gebietteile verursacht. Wir erkennen also ein weiteres Abnehmen der Periodizität der Wasserführung mit H. W. im Frühling und Winter und N. W. im Sommer.

E. Werthenstein als Typus eines Flusses ohne alpines Einzuggebiet zeigt das unruhigste Bild des Abflußvorganges. Die Grenzlinien

verlaufen durch das ganze Jahr, alle Monate weisen demnach H. W. und N. W. auf, wobei das Auftreten des H. W. stärker ausgeprägt ist (während der 5 Jahre wird im April die Niederwassergrenze gerade noch einmal unterschritten). Im allgemeinen zeigt der Mai das Maximum der Wasserführung (Schneeschmelze). In den Sommermonaten ändert sich das Bild rasch. Hochwässer wechseln mit sommerlichen N. W.-Beharrungszuständen. Dann wird nach wiederholtem An- und Abstieg im Februar das Minimum erreicht. Die Periodizität der alpinen Wasserführung ist vollkommen verschwunden.

Zusammenfassend läßt sich über das Reußgebiet sagen:

Das Hochgebirge zeigt eine alljährlich wiederkehrende volle Periodizität der Wasserführung, bedingt durch den Gang der Temperatur (vergl. Schlußabschnitt), N. W.- und H. W.-Monate sind vollkommen getrennt. Je mehr der Anteil des Hochgebirges am Einzugsgebiet zurücktritt, umso unperiodischer wird der Abflußvorgang. Die Flüsse wälzen im Vorland zu allen Jahreszeiten in bunter Abwechslung Hoch- und Niederwasser durch die Meßprofile.

Das Gesamtgebiet kennzeichnend, zeigt Mellingen bei einer nur unwesentlich abgeschwächten Periodizität die ausschlaggebende Wirkung des Hochgebirges auf den Wasserhaushalt der Reuß. Die Flüsse der Voralpen und des Mittellandes mit ihrer völligen Regellosigkeit der Wasserführung vermögen für die Gesamtreuß das Bild des Abflußvorganges eines Gletscherbaches nur unwesentlich zu beeinträchtigen.

Die Konstruktionsart der Abflußflächen aus den monatlichen Dauerkurven, bei alleiniger Berücksichtigung der Häufigkeiten, unabhängig von ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge, verwischt natürlicherweise die Lebhaftigkeit des Abflußvorganges. Als Ergänzung beschreiben wir deshalb kurz den Verlauf zweier typischer Monate.

Der Februar 1919 zeigt in Andermatt im allgemeinen ein Abnehmen der Wassermengen von 2.91 m^3/sec auf 1.72 m^3/sec. Ihr Schwankungskoeffizient beträgt 1.7. Die Niederschläge des ersten Monatsdrittels bedingen nur eine Anschwellung um 0.7 m^3/sec, also eine außerordentlich geringfügige Aenderung.

Seedorf weist ein ganz ähnliches Bild auf, nur sind dem größeren Einzugsgebiete entsprechend die Extremwerte 8.42 m^3/sec und 9.82 m^3/sec mit einem Verhältnis von 1,2.

Werthenstein als Mittellandstation besitzt auch jetzt wieder einen viel lebhafteren Verlauf. Jeder Niederschlagstag bringt Abwechslung in die Wasserführung. Rasche Anschwellungen bis über die Hochwassergrenze wechseln mit Niederwasserperioden. Die absoluten Grenzen des Spielraums sind 1,5 m^3/sec und 83,5 m^3/sec; ihr Verhältnis ist 55,7.

Für Mellingen ist, trotz der Niederschlags- und Tauperioden der Mittellandteile, eine Angleichung der Abflußverhältnisse an das

Verhalten der Hochgebirgszuflüsse zu konstatieren. Der Schwankungskoeffizient beträgt bloß 4.8, entsprechend den Extremwerten von 44.8 m³/sec und 217 m³/sec.

Für Sarnen gelten die Zahlen 6.31—1.81 m³/sec mit einem Verhältnis von 3,5.

Zur Vervollständigung diene neben dem eben beschriebenen winterlichen Verhalten als Typus der Sommermonate der Juni 1918.

In Andermatt führt die Reuß während der ersten sieben Tage noch Mittelwasser, dann ausschließlich Hochwasser. Am 17. wird die langsame Zunahme der Wassermengen durch die enormen Niederschläge zur Hochwasserwelle, die sich aber schon am 18. zu nur geringfügig gegenüber den Vortagen erhöhten Werten abflacht. Beim Vorübergang der Welle bemerkt man ein plötzliches Auftreten und ein etwas verlangsamtes Abklingen. Die Grenzen des absoluten Spielraums sind 17.2 m³/sec und 198.3 m³/sec mit einem Verhältnis von 11.5.

In Seedorf ist ein ähnliches Verhalten zu beobachten, mit dem Unterschied, daß der Scheitel der Hochwasserwelle erst einen Tag später auftritt, gefolgt von einem etwas lebhafteren An- und Abschwellen der Wassermengen. Doch auch hier ist nach ein paar Tagen der Normalzustand wieder erreicht. Die Extreme betragen 44.7 m³/sec und 252 m³/sec mit einem Verhältnis von 5.6.

Sarnen läßt deutlich den Seeinfluß erkennen. Die Niederschläge des 21. bedingen am 22. das Maximum mit 37.2 m³/sec, worauf aber die Wassermengen bis zum Monatsende nur auf etwa die Hälfte zurückgehen, das langsame Absinken des Seespiegels kennzeichnend. Das Minimum der Abflußmengen beträgt 7.52 m³/sec, woraus sich ein Koeffizient von 5.0 ergibt.

Werthenstein besitzt die lebhafteste Wasserführung. Der Monatsbeginn zeigt einen Niederwasserbeharrungszustand mit einem absoluten Minimum von 1.5 m³/sec, der später durch Anschwellungen infolge der Niederschläge mehrmals unterbrochen wird. Der sprunghafte Anstieg auf 155.5 m³/sec, nach den Maximalniederschlägen des Monats, ist von einem nur leicht verzögerten Abflauen gefolgt, wobei sich dieser Wechsel in der Wasserführung der Kleinen Emme, infolge des Fehlens von Schnee- und Gletscherwasser, besonders deutlich bemerkbar macht. Dementsprechend ist der Schwankungskoeffizient hier auf 104 emporgeschnellt.

Mellingen, mit der Hauptspeisung des Flusses aus dem Hochgebirge, zeigt während der ersten Monatshälfte mittleres Mittelwasser, das sich mit den einsetzenden Niederschlägen langsam erhöht und durch die Regenmengen des 21. sprungweise auf das absolute Maximum von 448.7 m³/sec anschwillt. Die Wassermengen des Monatsendes mit 308 m³/sec gehören aber immer noch dem Hochwasserbereich an. Man erkennt daran den Einfluß des Vierwaldstättersees, der die Hochwasserwelle des Hochgebirgsteiles stark verzögert in den Unterlauf leitet und ein rasches Abflauen der Wassermengen in Mellingen verhindert. Das Verhältnis der absoluten Spielraumgrenzen von 108.9 m³/sec und 449.7 m³/sec ist 4.1. Es entspricht also den Zahlen des Oberlaufes.

Um diese Ausführungen zu verdeutlichen, sind für das Urserental und das Entlebuch die zusammengehörenden Werte von Niederschlag

und Abfluß zu einer graphischen Darstellung verwendet worden. Damit soll das gegensätzliche Verhalten der Teilgebiete des Reußsystemes gekennzeichnet werden (vergl. Figuren im Anhang).

Fassen wir diese Schilderung der Abflußverhältnisse an den einzelnen Stationen zusammen, so läßt sich folgendes sagen:

In den Wintermonaten zeigen die Flüsse mit hochalpinem Einzugsgebiet einen Beharrungszustand mit geringstem Niederwasser bei unwesentlichen Schwankungen der Abflußmengen. Das Minimum der winterlichen Wasserführung wird erreicht gegen den Frühling zu, kurz bevor die Schneeschmelze beginnt, deren plötzliches Auftreten in den Abflußflächen deutlich hervortritt. Im Verlaufe des herausgegriffenen Einzelmonats fällt das Minimum der Wasserführung zusammen mit dem Minimum der Temperatur. Die Niederschläge vermögen während dieser Zeit keine größeren Anschwellungen auszulösen.

Anders das Bild in den Flußgebieten der Voralpen und des Mittellandes. Die Niederschläge, die in diesen tiefen Lagen in den Wintermonaten nicht durchgängig als Schnee fallen, verhindern das Vorkommen eines Beharrungszustandes mit Niederwassermengen und unterbrechen diese durch, in jedem Monat mögliche, Hochwassererscheinungen größten Ausmaßes, die rasch auftreten und etwas langsamer ausklingen. Der Vergleich der Zahlen über das Verhältnis von Max/Min. 1.2 für Seedorf und 55.7 für Werthenstein zeigt die Gegensätze mit aller Deutlichkeit. Für Sarnen verhindert der Seeeinfluß das Anwachsen dieser Verhältniszahl. Wie gering der Einfluß des Mittellandanteiles des Reußsystemes auf die Gesamtwasserführung des Untersuchungsgebietes ist, zeigt der Schwankungskoeffizient der Station Mellingen von 4.8, der ganz denjenigen der hochalpinen Teile entspricht.

In den Sommermonaten treffen wir wieder in den hochalpinen Gebieten die gleichmäßigere Wasserführung, aber jetzt sind es diese Teile, die sich durch die großen Mengen auszeichnen. Die Niederschläge vergrößern deshalb hier den Spielraum nicht in dem Maße (vergl. Schwankungskoeffizienten), wie sie es in den Mittellandgebieten vermögen, wo niederste Niederwassermengen mit höchsten Hochwassermengen abwechseln.

Auch der Verlauf der Hochwasserwellen in den Teilgebieten ist verschieden, insbesondere durch die Einwirkung der Seen.

Die alpinen Gebiete (Andermatt) und die Flüsse des Mittellandes (Kl. Emme, Werthenstein) haben gemeinsam die Raschheit des Auftretens und des kaum weniger raschen Verschwindens dieser Phasen der Wasserführung.

Das Gesamtgebiet (Mellingen) aber zeigt nur für den ersten Teil der Erscheinung Uebereinstimmung, rasches Auftreten der Hochwasserwelle, bedingt durch die unverzögert zum Abfluß gelangenden Wassermassen des Mittellandes. Das Verschwinden aber wird durch die eingeschalteten Seebecken verzögert.

Treffen wir im Oberlauf leichte Asymetrie der Wellen, so zeigt sie sich im Unterlauf vervielfacht.

5. *Die Wassermengen an den Pegelstationen des Reußgebietes.*

Die für die folgenden Untersuchungen notwendigen Totalabflußmengen an den einzelnen Pegelstationen wurden an Hand der Abflußmengentabellen auf das hydrologische Jahr umgerechnet. Die Resultate sind in Tabelle No. 23 zusammengestellt.

Um neben den, natürlich von der Größe des Einzugsgebietes abhängenden, absoluten Mengen den Anteil der Teilgebiete an der Wasserführung noch besser zu kennzeichnen, sind an Hand der 5-jährigen Mittelwerte die Angaben über die Wasserspende oder den spezifischen Abfluß, d. h. die Abflußmengen in l/sec/km² errechnet worden. Sie betragen:

Mittlere jährliche Abflußmengen in l/sec/km²
1914/15 — 1918/19.

Andermatt	61.2	l/sec/km²
Seedorf	56.0	„
Mellingen	43.2	„
Sarnen	39.7	„
Werthenstein	40.0	„

Vergleichen wir diese Zahlen mit den mittleren Niederschlagsmengen, die diesen Gebieten zukommen, so erkennt man den gleichsinnigen Verlauf der Zahlen. Eine Abweichung ergibt sich nur beim Einzugsgebiet der Sarneraa, dessen Niederschlagshöhe größer ist als die des Entlebuch (vergl. Tab. 24). Trotzdem ist die Wasserspende des Entlebuch um etwas größer als die für Sarnen. Wir werden den Verlust einerseits der Verdunstung der freien Seeoberfläche zuschreiben, anderseits aber den raschen, die Verdunstung vermindernden Abfluß des Entlebuchs dafür verantwortlich machen müssen.

Tabelle No. 23.

Abflußmengen der Reuß in Mill. m³.

Pegelstation Andermatt. Einzugsgebiet: 191,51 km².

Monat	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1918/19
Oktober	13.338	15.301	17.088	16.178	23.865
November	11.353	8.372	13.452	10.135	9.953
Dezember	7.473	8.169	8.839	8.330	14.142
Januar	6.401	5.571	6.134	5.169	9.455
Februar	5.105	5.061	4.209	4.476	4.911
März	5.464	5.250	4.714	4.901	4.848
April	11.223	10.524	6.039	10.005	6.713
Mai	75.638	57.800	78.745	44.461	32.676
Juni	92.223	71.513	87.091	80.611	95.904
Juli	71.835	107.672	72.585	88.387	58.121
August	41.837	65.487	56.782	53.836	54.372
September	23.406	30.093	29.030	37.325	27.734
Jahr:	365.296	390.813	384.708	363.814	342.694

Pegelstation Seedorf. Einzugsgebiet: 832.25 km².

Monat	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1918/19
Oktober	61.335	74.192	114.100	84.102	85.709
November	51.062	31.104	56.246	48.730	38.880
Dezember	35.355	38.569	37.498	33.480	61.871
Januar	22.231	41.515	39.640	27.320	43.926
Februar	15.967	24.054	17.176	21.065	22.353
März	27.320	32.677	17.410	27.588	27.588
April	56.765	76.723	31.104	49.507	53.136
Mai	260.608	223.379	295.695	164.454	164.186
Juni	294.192	262.829	300.413	261.792	365.472
Juli	292.749	339.352	264.090	294.624	249.359
August	181.863	254.716	246.413	211.326	243.734
September	111.197	135.043	131.710	154.224	113.789
Jahr:	1410.644	1534.153	1551.495	1378.212	1470.003

Pegelstation Mellingen. Einzugsgebiet: 3382.28 km².

Monat	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1918/19
Oktober	215.879	257.394	458.810	372.833	285.785
November	209.952	150.077	270.864	230.170	144.634
Dezember	162.847	257.662	229.271	179.185	395.064
Januar	140.080	294.624	267.572	167.132	286.589
Februar	120.960	160.609	98.220	142.975	196.681
März	253.337	244.806	111.154	149.455	220.700
April	367.546	388.282	223.172	219.283	474.336
Mai	715.936	566.482	719.418	440.597	506.218
Juni	669.514	719.796	648.259	608.084	730.944
Juli	711.383	813.698	613.354	633.174	763.344
August	587.105	565.142	669.868	499.254	570.499
September	347.846	476.669	375.581	490.667	252.202
Jahr:	4502.425	4895.243	4685.543	4132.808	4826.996

Abflußmengen der Engelbergeraa in Mill. m³.

Pegelstation Büren. Einzugsgebiet: 219.15 km².

Monat	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1918/19
Oktober			41.783	33.212	26.838
November			21.773	23.328	12.493
Dezember			18.481	13.124	26.329
Januar			18.481	10.419	17.061
Februar			7.258	6.193	8.225
März			6.964	8.089	12.053
April			11.923	18.377	23.432
Mai			76.870	52.015	53.300
Juni			68.429	72.809	92.534
Juli			68.031	57.961	88.387
August			62.407	49.684	61.871
September			32.141	46.060	26.698
Jahr:	—	—	434.541	391.271	449.221

Abflußmengen der Sarneraa in Mill. m³.

Pegelstation Sarnen (Rathaus). Einzugsgebiet: 267.49 km².

Monat	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1918/19
Oktober	15.803	23.302	34.284	29.730	23.865
November	19.181	10.886	25.142	23.846	10.721
Dezember	14.196	24.373	20.356	16.070	34.284
Januar	12.856	24.641	25.445	14.035	29.730
Februar	7.258	14.031	6.048	8.443	11.056
März	17.142	21.695	7.232	10.473	17.811
April	34.214	35.510	14.256	22.602	38.621
Mai	67.496	53.300	62.139	39.908	54.639
Juni	38.362	51.062	28.253	45.878	55.469
Juli	47.140	40.443	32.409	26.623	58.925
August	31.873	22.766	46.068	24.744	22.177
September	27.475	32.659	21.254	29.808	8.891
Jahr:	332.996	354.668	322.886	292.138	366.189

Abflußmengen der Kleinen Emme in Mill. m³.

Pegelstation Werthenstein. Einzugsgebiet: 354.86 km².

Monat	1914/15	1915/16	1916/17	1917/18	1918/19
Oktober	111.785	22.766	48.211	44.997	17.517
November	23.587	17.366	31.622	35.770	4.536
Dezember	24.641	58.657	48.479	21.427	64.603
Januar	26.784	37.498	26.784	31.096	19.311
Februar	8.225	31.069	7.016	9.072	46.739
März	44.729	50.086	17.042	23.222	36.266
April	78.538	76.982	36.029	39.243	63.789
Mai	90.798	58.925	80.084	37.176	71.808
Juni	53.395	60.912	27.944	40.435	41.057
Juli	67.496	44.729	38.837	11.356	64.121
August	40.444	21.695	45.533	21.856	8.169
September	30.586	38.102	12.701	38.880	5.288
Jahr:	501.008	518.787	420.432	354.530	443.204

Da wir für Mellingen die Untersuchung auf 10 Jahre ausdehnen konnten, so fügen wir den Mittelwert der vorangegangenen 5 Jahre bei, samt dem Mittel der 10-jährigen Periode.

Die Zahlen lauten:

1909/14:	43.8 l/sec/km²
1914/19:	43.2 „
1909/19:	43.5 l/sec/km²

Die Unterschiede der beiden Jahrfünfte sind äußerst gering, und dementsprechend weicht auch der 10-jährige Wert nicht stark von ihnen ab. Trotz der Kürze der Untersuchungsperiode dürfte also das erhaltene Bild nicht allzu verzerrt ausgefallen sein.

Mit Hilfe der in Tab. 24 zusammengestellten Werte errechnen wir die Schwankungen der Gesamtabflußmengen des Reußgebietes im Verlauf der Jahre 1909/19.

	Abflußmengen	Abflußhöhe	% des Mittels
Maximum 1913/14	5320.05 Mill. cbm	= 1570 mm	115 %
Minimum 1910/11	3822.73 „	= 1130 mm	83 %

Max/Min. = 1.4

Das Maximum wird erreicht im Jahre 1913/14, dem für die Alpengebiete niederschlagreichsten Jahre der Untersuchungsperiode. Das besonders für das Mittelland regenreiche Jahr 1909/10, das dem Gesamtgebiet die meisten Niederschläge brachte, weist eine etwas geringere Abflußmenge auf. Das abflußärmste Jahr fällt zusammen mit dem niederschlagsärmsten 1910/11.

Vierter Teil.

Der Wasserhaushalt der Reuß.

1. Allgemeines.

Sind in den vorangegangenen Abschnitten die beiden geophysischen Probleme der Niederschlags- und der Abflußverhältnisse getrennt behandelt worden, so sollen sie in diesem Schlußabschnitt in kausale Verbindung gebracht und ihre Beziehungen zueinander untersucht werden. Wir verlassen also die bisherige getrennte (von unserm geographischen Standpunkt beurteilt einseitige) Betrachtungsweise und versuchen diese geophysischen Funktionen in ihrem für das Landschaftsbild, die Siedlungen und die Wirtschaft so überaus wichtigen Zusammenspiel zu erfassen. Damit wird unser Thema zu einem eigentlich geographischen Problem. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß wohl schon lange von meteorologischer Seite speziell die Niederschlagsverhältnisse einer Landschaft dargestellt wurden oder von mehr technischem Standpunkt aus die Abflußverhältnisse ihre Behandlung erfuhren, daß aber erst von geographischer Seite, von *A. Penck* und *V. Ruvarac*[90]) das Zusammenwirken dieser Faktoren untersucht wurde.

Gestatten die gewonnenen Untersuchungsresultate noch nicht, die Beziehungen bis in alle Einzelheiten zu verfolgen, so genügen die Beobachtungen doch, um die großen Züge des Wasserhaushaltes des Reußgebietes, speziell die Unterschiede der Teilgebiete in den Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß einerseits und der Temperatur anderseits deutlich zum Ausdruck zu bringen und klarzulegen, welche Teile des Reußgebietes für die Abflußverhältnisse der Station Mellingen verantwortlich zu machen sind.

[90]) A. Penck u. V. Ruvarac: Die Abfluß- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen nebst Untersuchungen über Verdunstung und Abfluß von größern Landflächen. Geogr. Abhandl. Bd. V. Heft 5. 1896.

Kann man dem Wasserhaushalt eines Flußgebietes, sofern es sich um eine ausreichend lange Periode, um vieljährige Mittelwerte handelt, die Gleichung:

Abfluß = Niederschlag — Verdunstung[91])

zu Grunde legen, so gilt diese einfache Form sicher nicht für Einzeljahre, hydrologische und andere, am wenigsten in Gebieten, die wie das Reußgebiet ausgedehnte Firn- und Gletscherareale besitzen, da über die Dauer der zeitweisen Speicherung und nachfolgenden Speisung bestimmte Angaben zu machen, fast unmöglich ist. Könnte man für ein vegetationsloses Hochtal die Verdunstungsmenge einzelner Jahre ebenso genau bestimmen, wie die Werte für Niederschlag und Abfluß, so wäre damit eine Möglichkeit gegeben, über den Betrag der Aufspeicherung und Speisung und deren Verschiedenheit von Jahr zu Jahr Aufschlüsse zu erhalten.

Legt man dem Wasserhaushalt einzelner hydrologischer Jahre, wie es allgemein geschieht und im Folgenden auch durchgeführt wird, trotzdem die obige Gleichung zu Grunde, so wird man gut daran tun, speziell in unserem Untersuchungsgebiet, die Bezeichnung „Verdunstung" für den dritten Faktor der Gleichung durch einen andern zu ersetzen, um das Mißverständnis zu vermeiden, als sollte damit tatsächlich etwas über den Betrag der Verdunstung ausgesagt werden. Wir wählten dafür im Anschluß an andere Untersuchungen[92]) den Ausdruck „Verlust" und schreiben die Gleichung demnach in der Form:

Abfluß = Niederschlag — Verlust.

Dabei ist unter Verlust einfach der Fehlbetrag des Abflusses gegenüber dem Niederschlag verstanden, ohne Rücksicht darauf, ob wir es in den einzelnen Jahren mit einem tatsächlichen Verlust oder nur mit einem scheinbaren zu tun haben.

Scheinbare Verluste werden entstehen hauptsächlich durch die Aufspeicherung in den Firnfeldern und Gletschern oder im Boden (Quell- und Sickerwasser), oder aber durch wiederholte Umsetzung der Wassermassen im Gebiete selbst. Wirkliche Verluste

[91]) A. Penck: A. a. O. S. 50.

[92]) W. Ule: Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa. S. 25.

werden verursacht durch die Wegführung von verdunsteten Wassermassen aus dem Gebiete, die Verwendung zum Aufbau der Vegetationsdecke, die Bindung bei entstehenden Gesteinen, den Wasserbedarf von Mensch und Tier, den Bedarf der menschlichen Wirtschaft (Industrie*).

Wir werden besonders auf die beiden letzten Punkte, die noch nie in den Kreis einer solchen Betrachtung gezogen wurden, in einem besonderen Abschnitte zurückkommen.

Bei dieser Sachlage kann es nicht Aufgabe sein, über die absolute Größe dieses Verlustes in den Einzeljahren etwas auszusagen, sondern wir können bloß versuchen, die auffälligen Schwankungen von Jahr zu Jahr oder von Teilgebiet zu Teilgebiet aus den besonderen Eigenschaften des Jahres, des Witterungsverlaufes oder den Sondereigenschaften eines Teilgebietes zu erklären.

In Tabelle No. 24 sind die in den vorangegangenen Untersuchungen ermittelten Jahreswerte von Niederschlag und Abfluß und die daraus berechneten Verlusthöhen zusammengestellt. Um den Gang dieser drei Größen während der Untersuchungsperiode besser überblicken zu können, wurden die Werte graphisch aufgetragen (vergl. Tafeln). Es ergibt sich das Folgende:

Die Schwankungen der jährlichen Mittelwerte von Niederschlag und Abfluß während der Untersuchungsperiode zeigen im allgemeinen eine Parallelität, sie erfolgen in gleichem Sinne, sodaß wir für das Ausmaß der jährlichen Abflußmengen in erster Linie die Niederschläge verantwortlich machen müssen. Die vorkommenden Ausnahmen weisen jedoch darauf hin, daß noch andere Faktoren den Abflußvorgang in seinem zeitlichen Verlauf und Ausmaß bestimmen. Um in diese Dinge noch bessern Einblick zu erhalten, wurden die Niederschlags- und Abflußmengen nicht nur nach ihren jährlichen Mittelwerten untersucht, sondern auch ihre Monatsmittel und die Mittel der Monatstemperaturen als Ergänzung einer Betrachtung unterzogen (vergl. Tafeln). Die Resultate folgen in Abschnitt 3.

*) Abzüglich des scheinbaren Verlustes, d. h. der wieder in die Flüsse zurückkehrenden Abwässer.

Tabelle No. 24.

Niederschlag, Abfluß und Verlust im Reußgebiet.

	Niederschlag in Mill.	Abfluß m^3	A/N %	Niederschlag mm	Abfluß mm	Verlust mm
Andermatt:						
1914/15	424.84	365.30	86	2218	1907	311
1915/16	497.16	390.81	79	2596	2041	555
1916/17	499.42	384.71	77	2608	2009	599
1917/18	485.86	363.81	75	2537	1899	638
1918/19	431.62	342.69	80	2254	1789	465
Mittel:	467.78	369.46	79	2442	1929	513
Seedorf:						
1914/15	1793.59	1410.64	79	2155	1695	460
1915/16	1886.01	1534.15	81	2266	1843	423
1916/17	1876.65	1551.50	83	2255	1864	391
1917/18	1996.31	1378.21	69	2399	1656	743
1918/19	1938.46	1470.00	76	2329	1766	563
Mittel:	1898.20	1468.90	77	2281	1765	516
Büren:						
1916/17	434.70	434.54	100	1984	1983	1
1917/18	499.70	391.27	80	2279	1820	459
1918/19	462.96	448.60	97	2112	2044	68
Mittel:	—	—	—	—	—	—
Sarnen:						
1914/15	473.78	332.99	70	1771	1245	526
1915/16	478.74	354.67	74	1789	1326	463
1916/17	463.85	322.89	70	1734	1207	527
1917/18	471.30	292.14	62	1762	1062	670
1918/19	496.10	366.19	74	1855	1369	486
Mittel:	4476.75	333.77	70	1782	1247	535
Werthenstein:						
1914/15	611.02	501.01	82	1722	1412	310
1915/16	626.30	518.79	83	1765	1462	303
1916/17	583.52	420.43	72	1644	1185	459
1917/18	556.03	354.53	64	1567	1000	567
1918/19	549.92	443.20	81	1549	1249	300
Mittel:	585.36	447.59	77	1649	1261	388
Mellingen:						
1909/10	7118.38	5250.45	74	2102	1550	552
1910/11	5076.06	3822.73	75	1502	1130	372
1911/12	6043.22	4395.06	73	1783	1297	486
1912/13	5967.30	4538.78	76	1762	1340	422
1913/14	7078.51	5320.05	75	2092	1570	522
1914/15	5946.64	4502.43	76	1758	1331	427
1915/16	6124.98	4895.24	80	1811	1449	362
1916/17	5962.81	4685.54	79	1763	1385	378
1917/18	6053.34	4132.81	68	1789	1222	567
1918/19	6107.05	4826.99	79	1806	1427	379
Mittel:						
1909/14	6256.69	4665.41	75	1848	1378	470
1914/19	6038.96	4608.60	76	1785	1362	423
1909/19	6147.83	4637.00	76	1814	1370	444

2. *Der Wasserhaushalt der Teilgebiete.*

A) Die Triebkräfte des Abflußvorganges.

Verfolgen wir zuerst die Verhältnisse im Urserental. Für ein charakteristisches Jahr wurden die mittleren monatlichen Niederschlags- und Abflußmengen, sowie die Temperaturmittel der Station Andermatt aufgetragen.

Der Verlauf der Kurven zeigt deutlich, wie Temperatur und Niederschlag auf den Abfluß einwirken, wobei die Temperatur der Faktor ist, der den Abflußvorgang regiert. Mit ihrer Abnahme gehen auch die Abflußmengen vom Oktober an stetig zurück. Mit dem Unterschreiten des Temperaturnullpunktes entsteht ein Beharrungszustand mit sich langsam verringernden Wassermengen. Im herausgegriffenen Jahr tritt das Temperaturminimum im Januar ein, Februar und März zeigen einen Anstieg, bleiben aber immer noch unter Null. Dementsprechend ist in der Kurve der Abflußmengen von diesem Anstieg nichts zu merken. Je länger die Temperatur unter Null verharrt, umsomehr verringern sich die Abflußmengen. Sie sind nach *H. Heß*[93]) dem Abschmelzen der Gletscher infolge der Erdwärme zu verdanken. *O. Lütschg*[94]) vertritt dagegen den Standpunkt, daß sie bis auf einen verschwindend kleinen Betrag aus dem Quellwasser des ganzen Gletschertales gebildet werden, wobei die Quellen im Gebiete der Gletscherzunge die bedeutendste Rolle spielen.

Unsere Figur zeigt, daß die Temperaturschwankungen der Wintermonate den Abflußvorgang nicht wesentlich zu beeinflussen vermögen. Tritt aber mit dem Mai der starke Temperaturanstieg ein, so verläuft die Abflußkurve ebenso steil. Wir haben auf die Raschheit dieser Aenderungen schon bei der Diskussion der Abflußfläche, S. 93 aufmerksam gemacht, erkennen aber jetzt bei der Gegenüberstellung des Temperaturverlaufes auch die treibende Kraft. Mit dem Temperaturmaximum im Juni tritt auch das Maximum der Abflußmengen ein. Die nur wenig geringeren Temperaturen des Juli und August liefern soviel Schmelzwasser aus der Firn- und Gletscherregion, daß die Abflußmengen nur langsam zurückgehen, dazu kommen die reicheren Niederschläge dieser Monate,

[93]) H. Heß: Winterwasser der Gletscherbäche. Peterm. Mittlg. 52. 1909. S. 59.

[94]) O. Lütschg: Der Märjelensee etc. S. 330.

die zum großen Teil als Regen zur Erde gelangen und eine rasche Abnahme der Abflußmengen verhindern. Das sind aber in diesem betrachteten Jahr auch die einzigen Monate, in denen wir den Niederschlägen einen merkbaren unmittelbaren Einfluß auf die Abflußverhältnisse zuerkennen dürfen. Die Niederschlagsschwankungen der übrigen Monate machen sich in den Mittelwerten der Abflußmengen überhaupt nicht mehr bemerkbar. Die durch sie bedingte vermehrte Wasserführung einiger Tage verschwindet, wenn man den Monat als Ganzes betrachtet. Besonders deutlich läßt sich aus der Figur dieses Verhalten für den Monat April entnehmen. Die enormen Niederschläge (Andermatt 365 mm) fallen noch ganz als Schnee, ein Einfluß auf die Wasserführung des gleichen Monats ist gar nicht zu erkennen. Wenn also in diesem Teilgebiet von Jahr zu Jahr bedeutende Verschiebungen auftreten, so werden wir zu deren Erklärung zuerst die Temperatur herbeiziehen müssen und erst in zweiter Linie die Niederschlagsverteilung.

Diese kurzen Ausführungen gelten auch noch in gleicher Weise für die Station Seedorf. Der geringe Anteil des Reußtals selbst an der Ausgestaltung der Wasserführung verschwindet gegenüber den Einflüssen der höher gelegenen Gebiete. Der prozentuale Anteil der Höhen unter 1200 m beträgt bloß ca. 10 % und der Hauptanteil der Fläche entfällt auf die gleichen Höhenstufen wie beim Urserental. Im Uebrigen hat die Diskussion der Abflußfläche für Seedorf (S. 93) ergeben, daß der Abflußvorgang den gleichen Gesetzmäßigkeiten unterliegt wie im obersten Talstück.

Als Gegensatz greifen wir den Kurvenverlauf eines Jahres für das Entlebuch heraus. Ein Nachteil besteht hier nur darin, daß die Angaben für die drei Faktoren nicht für die gleiche Station genommen werden können. Es wurden verwendet für die Abflußverhältnisse die Angaben der Station Werthenstein, für die Temperatur Luzern und zur Darstellung der Niederschläge die Angaben der beiden Stationen Entlebuch und Flühli, wobei die eine für das untere, die andere für das obere Entlebuch als maßgebend betrachtet werden darf.

Das Bild zeigt wesentliche Aenderungen. Die Beziehungen zwischen Abfluß und Temperatur während der Schmelzperiode können natürlich keine wesentlichen

Verschiedenheiten aufweisen, der Unterschied kann nur im früheren Zeitpunkt des Beginnens liegen. Aber schon beim Rückgang der Wassermengen am Ende der Schneeschmelze zeigen sich hier Sonderheiten: der absteigende Ast ist im Gegensatz zum alpinen Gebiet steiler als der ansteigende. Es fehlt die Speisung aus den Firnfeldern und Gletschern. Trotz vermehrten Niederschlägen in den folgenden Monaten liegt das Maximum im Mai. Die übrigen Teile der Jahreskurve zeigen noch deutlicher die veränderten Verhältnisse. Nicht mehr die Temperatur, sondern das Ausmaß der Niederschläge regiert den Abfluß. Deutlich tritt den ganzen Sommer, Herbst und Winter hindurch die Parallelität von Abfluß und Niederschlag zu Tage. Bei der tiefen Lage des Einzuggebietes fallen auch im Winter nicht alle Niederschläge in fester Form, sodaß auch gelegentlich Winterhochwässer auftreten (vergl. S. 94). Somit wird auch das bedächtige Ansteigen zum Maximum der Wasserführung der Schmelzperiode erklärlich, denn schon geringe Temperaturänderungen, die im Urserental das Temperaturmittel nicht über den Nullpunkt zu erhöhen vermochten, bringen hier ein Schmelzen und damit ein langsames Anwachsen der Wassermengen hervor.

Diese beiden extremen Beispiele veranschaulichen die wechselnden Verhältnisse des Reußgebietes und schildern das Zusammenwirken der den Abflußvorgang und damit auch die Abflußmengen bestimmenden Faktoren, denn auch von der Raschheit des Abfließens der Niederschläge wird es abhängen, wieviel davon verdunstet und damit dem Abfluß verloren geht. Je länger die Niederschläge zurückgehalten und aufgespeichert werden, umso länger wird die Verdunstung an ihrer Verminderung tätig sein können.

Das gilt auch für die Aufspeicherung in der Gletscherregion; denn neue Versuche über Verdunstung und Kondensation auf Schnee und Eis haben die Resultate von *Forel* und *Dufour* vom Rhonegletscher[95]), nach denen Kondensation 7mal mehr vorkommen soll als Verdunstung nicht bestätigt. Die bisherigen Ergebnisse der

[95]) Ch. Dufour und F. A. Forel: Recherches sur la condensation de la vapeur aqueuse de l'air au contact de la glace et sur l'évaporation, Bull. soc. vaud. sciences. nat. vol. X, 1870.

Messungen von *Billwiller*[96]) ergaben, daß unter 100 Fällen, 82—93 mit Verdunstung und nur 7—18 mit Kondensation beobachtet wurden. *Heß* und *Blümcke* fanden schon 1895 am Hintereisferner tagsüber ebenso oft Kondensation als Verdunstung[97]).

Mit diesen über das Sonderverhalten der Teilgebiete gewonnenen Einblicken können wir nun an die Betrachtung der Abflußkoeffizienten dieser Teilgebiete herantreten und daraus, wie aus ihren übrigen Eigenschaften, der Wasserdurchlässigkeit etc., ihre Größe begründen und untereinander vergleichen.

B) Die Abflußkoeffizienten.

Die größten Koeffizienten zeigen, wie zu erwarten war, die Gebiete mit starkem Hochgebirgsanteil. Die Zahlen für Seedorf sind dabei unter den früher gemachten Einschränkungen (S. 85) als zu klein zu betrachten. Machen wir einen Zuschlag von 5%, der sich wohl begründen läßt, so wird der Abflußkoeffizient für Seedorf größer als für Andermatt. Halten wir uns vor Augen, daß die Zonen maximaler Niederschläge nicht am Gotthard, sondern im Claridenund Titlisgebiet liegen, zusammenfallend mit den Zonen der größten mittleren Erhebung, und daß diese Teile für die Abflußverhältnisse maßgebend sind, so kann man darin nichts Ungewöhnliches erblicken. Es wird auch die erhöhte Verdunstung auf den schwerdurchlässigen, zu Moorbildung neigenden Urgesteinen des Gotthardgebietes den Andermatter Koeffizienten herabdrücken, während für das Reußgebiet bis Seedorf die großen Anteile an durchlässigen Gesteinen, die das durchsickernde Wasser der Verdunstung entziehen, erhöhend wirken. Auch die Niederschlagsverteilung ist zu berücksichtigen. Im Gotthardgebiet fallen die maximalen Niederschlagsmengen im Oktober, die also nur teilweise noch im gleichen Jahr zum Abfluß gelangen. Im Gegensatz dazu stehen die sofort abfließenden und damit der Verdunstung entzogenen sommerlichen Maximalmengen des untern Reußtales.

Das Einzugsgebiet der Sarneraa besitzt einen wesentlich geringeren Abflußkoeffizienten. Die Gründe

[96]) R. Billwiller: Der Wasseraustausch zwischen der Luft einerseits, Schnee und Eis anderseits im Gebirge. Annalen der Met. Zentralanstalt 1918.

[97]) H. Heß: Die Gletscher, Braunschweig 1904. S. 210.

werden wir offenbar in der erhöhten Verdunstung auf den Seeflächen und auf den vermoorten Teilen des Talbodens und der Schlierengegend zu suchen haben. Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge — Lungern zeigt abnorm hohe Mengen im Dezember und Januar gegenüber geringen Sommermengen, verbunden mit geringerer Niederschlagsdichte der Sommermonate — werden im gleichen Sinne wirken.

Einen auf den ersten Blick überraschend großen Koeffizienten weist das Entlebuch auf. Den Hauptgrund dafür werden wir in der Raschheit des Abflußvorganges erkennen müssen, bedingt durch die große Wasserundurchlässigkeit der Molasse und der stark verkitteten Nagelfluh. Zudem wird ein großer Teil der Winterniederschläge überhaupt nicht aufgespeichert, sondern fließt zu einer Zeit geringer Verdunstung sofort ab. Auch verzögert hier kein See den Abfluß, sodaß auch im Sommer die Verdunstung nicht das gleiche Ausmaß annehmen wird wie im Einzugsgebiete der Sarneraa.

3. Der Wasserhaushalt des Gesamtgebietes.

A) Der Abflußkoeffizient.

Das Gesamtgebiet besitzt einen nur wenig kleinern Abflußkoeffizienten als die alpinen Teilgebiete. Wir hatten aus der Abflußfläche von Mellingen (vergl. S. 94) die Hauptverantwortlichkeit der Hochgebirgsteile für die Abflußverhältnisse der Reuß erkannt, sodaß schon deshalb keine zu starke Verminderung des Abflußkoeffizienten zu erwarten war, trotz der Größe des Einzugsgebietes und der für den Abfluß ungünstigeren Verhältnisse des Mittellandes (geringeres Gefälle, ausgedehnte See- und Sumpfflächen).

Berechnen wir an Hand der Zahlen *Maurers*[98]) über die Verdunstung auf Seeflächen (Jahresmittel 900 mm), das Ausmaß des aus den Seen des Reußgebietes durch Verdunstung gehobenen Wassers, so würde dieses den Abflußkoeffizienten des Gesamtgebietes um ca. 3% erhöhen.

Die Ausdehnung der Untersuchungsperiode von 5 auf 10 Jahre ändert den Abflußkoeffizienten des ganzen Reußgebietes nur unwesentlich, von 76% auf beinahe 75%.

[98]) J. Maurer: Über die Größe der jährlichen Verdunstung auf Seeflächen. Schweiz. Wasserwirtschaft 1913, Heft 11.

Die betrachteten 5jährigen Mittelwerte dürften also keine zu starken Abweichungen von einem langjährigen Mittel aufweisen.

B) Das Verhältnis der Schwankungen von Niederschlag und Abfluß.

In Anbetracht der starken Temperatureinflüsse auf den Abflußvorgang, darf es uns nicht überraschen, bei den Hochgebirgsteilen des Reußgebietes keine absolute Parallelität der Schwankungen von Niederschlag und Abfluß zu erhalten. Es wird hier immer wieder vorkommen, daß in einzelnen Jahren auch außerhalb der Firnfelder Schnee zurückbleibt, der von der Sonne nicht mehr ganz geschmolzen werden konnte und erst in späteren Jahren zum Abfluß kommt. Auffälliger werden diese ungleichsinnigen Schwankungen von Niederschlag und Abfluß in Gebieten, die wie das Entlebuch keinen Hochgebirgsanteil besitzen, wo also nicht an eine Aufspeicherung in Form von Schnee oder Eis zu denken ist. Hier werden wir eher den allgemeinen Witterungsverlauf des Jahres, verbunden mit stärkeren oder schwächeren Aufspeicherungen im Boden, in Form von Quell- und Sickerwasser, zur Betrachtung heranziehen müssen. Die Jahre mit abnormalen Erscheinungen sollen im Folgenden etwas eingehender untersucht werden.

In der Untersuchungsperiode zeigt das Jahr 1917/18 die hervorstechendsten Abweichungen in Bezug auf das Gesamtgebiet. Außer im Gotthardgebiet und Entlebuch trifft man überall gegenüber dem Vorjahr vermehrte Niederschläge, damit ist aber keine Zunahme des Abflusses verbunden, sondern eine auffallende Verringerung. Aufschluß gibt uns der Witterungsverlauf dieses Jahres. Die erste Jahreshälfte 1918 brachte für das Mittelland vom 15. V. — 10. VI. eine Trockenperiode mit äußerst geringen, für die Vegetation nicht in Betracht kommenden Niederschlägen bei anhaltenden austrocknenden östlichen Winden[99]). Wir werden in der dadurch verursachten stärkeren Verdunstung während der Abschmelzperiode einen Grund zur Erklärung der Abweichung finden. Überblicken wir die Abflußverhältnisse der Station Werthenstein, so bemerken wir

[99]) Meteorolog. Annalen 1918, No. 2, S. 10.

im April einen Anstieg mit der Schneeschmelze, im Mai aber an Stelle des Maximums einen Rückgang der Wassermengen infolge der stärkeren Verdunstung während der Trockenperiode und erst mit den starken Niederschlägen der zweiten Monatshälfte des Juni das Maximum. Für die Alpengebiete kommt ein weiterer Umstand in Frage. Aus den Schneehöhenmessungen im Claridengebiet glaubt der Berichterstatter der Annalen, Dr. *Billwiller* [100]) den Schluß ziehen zu dürfen, daß die maximalen Schneehöhen in diesen Hochgebirgsteilen erst Ende Juni – Anfang Juli auftraten, sodaß sehr damit zu rechnen ist, daß im gleichen Jahr nicht mehr alles aus diesen Gebieten zum Abfluß kam. Die Tatsache, daß im gletscherärmeren Gotthardgebiet diese Anomalien nicht so stark zum Ausdruck kommen, bedeutet keinen Widerspruch, denn auch hier hat der Verlust trotz Verminderung der Niederschläge zugenommen. Mit dem vorübergehenden Temperaturrückgang im Juni ergibt sich ein Verschieben des Abflußmaximums für alle Alpengebiete in den Juli, den Monat stärkster Erwärmung.

Wir werden also für den verringerten Abfluß dieses Jahres einmal die Trockenperiode des Frühsommers und anderseits die starken alpinen Schneefälle des Juni, deren Schmelzwasser nicht mehr vollständig zum Abfluß kamen, verantwortlich machen müssen.

Die zweite stärkere Abweichung, aber im Gegensinne, betrifft das Jahr 1912/13. Trotz Verringerung der Niederschläge eine leichte Zunahme des Abflusses gegenüber dem Vorjahr. Leider gestatten die unvollständigen Abflußbeobachtungen nicht wie im vorangegangenen Fall, das Reußgebiet nach Teilgebieten zu betrachten. Allgemein läßt sich sagen: das vorangegangene Jahr 1912 brachte nach der Trockenheit des Jahres 1911 stark vermehrte Niederschläge mit einem sehr regnerischen Sommer, sodaß eine Aufspeicherung in den Hochgebieten als Schnee und in den übrigen als Quell- und Sickerwasser in Frage kommt. Diese Niederschlagsmengen wären dann erst dem Jahr 1912/13 zugute gekommen, eben dem in Frage stehenden Jahre. Ueberdies zeigen einzelne Landschaften keinen Rückgang der Niederschläge für 1912/13, dagegen treffen wir durchgehend eine Veringerung der Verlusthöhen

[100]) Meteorol. Annalen 1918. No. 2. S. 11.

gegenüber dem Vorjahre. Damit fände wieder ein Teil des vermehrten Abflusses eine Begründung. Dadurch wären die besonders starken Abweichungen dieser Jahre verständlich geworden.

In Tabelle No. 24 tritt noch etwas besonders hervor: das Maximum der Abflußmengen vom Jahre 1913/14 fällt nicht zusammen mit dem Maximum der Niederschlagsmengen vom Jahre 1909/10. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Unterschiede der absoluten Mengen sowohl der Niederschläge als auch des Abflusses dieser beiden Jahre so gering sind, daß wir auf die Tatsache dieser Verschiebung kein weiteres Gewicht legen wollen. Eine Betrachtung nach Teillandschaften läßt sich auch für dieses Jahr nicht durchführen aus denselben Gründen wie oben.

Das Minimum der Niederschlagsmengen fällt zusammen mit dem Minimum der Abflußmengen im Jahre 1910/11, also dem Trockenjahr der Untersuchungsperiode.

Stellen wir nun noch die in den vorangegangenen Abschnitten ermittelten Extremwerte der Schwankungen von Niederschlag und Abfluß einander gegenüber, so erhalten wir folgendes Bild;

Absolute Schwankungen von Niederschlag und Abfluß in der Periode 1909/10—1918/19.

	Maximum (in % des 10-jährigen Mittels)	Minimum (in % des 10-jährigen Mittels)	Differenz
Niederschlag	116%	83%	33%
Abfluß	115%	83%	32%

Niederschlag und Abfluß waren also beinahe denselben Schwankungen unterworfen und die des Niederschlags war nur um 1% größer als die des Abflusses.

Roder erhielt in seiner Arbeit über das viel weniger vergletscherte bündnerische Rheingebiet für den Abfluß bedeutend größere Schwankungen als für den Niederschlag[101]). Auch *Penck* fand für das unvergletscherte Böhmen ebenfalls beim Abfluß die größeren Schwankungen[102])

[101]) E. Roder: A. a. o. S. 138.
[102]) A. Penck: A. a. o. S. 73.

Lassen sich die Ergebnisse dieser Arbeiten nicht unbedingt mit unseren Untersuchungen vergleichen, da sie sich auf verschiedene Perioden beziehen, so läßt sich doch daraus eine ausgleichende Wirkung der Gletscher auf die Wasserführung auch inbezug auf das Ausmaß der Schwankung erkennen. Sie speichern in regnerischen Jahren auf, wo der Abflußkoeffizient schon allein infolge der verminderten Verdunstung größer wird, geben diese Wassermengen während trockener Jahren wieder ab und wirken damit der verstärkten Verdunstung dieser Jahre entgegen, vermindern also auch da die Schwankung.

Um die Wasserlieferung des Gletschers während der Abschmelzperiode besser kennzeichnen zu können, versuchen wir in Abschnitt d diese Speisung zahlenmäßig zu erfassen.

C) Der Einfluß des Menschen auf den Wasserhaushalt der Reuß.

Bei dem außerordentlich hohen Wasserbedarf des Menschen für Wirtschafts- und Industriezwecke erschien es der Mühe wert, zu versuchen, diesen Bedarf zahlenmäßig festzustellen und den Anteil an dem gesamten Wasserhaushalt der Reuß zu berechnen. Dabei war zu unterscheiden zwischen den Mengen, die durch unsere Wasserversorgung und Fabriken den Flüssen entzogen, aber zum größten Teil als Abwässer nach einer gewissen Zeit wieder zugeführt werden und dem tatsächlichen Verbrauch.

Verhältnismäßig einfach war die erste Größe, die totale Wasserentnahme zu ermitteln. Nach den Angaben der Wasserversorgungen von Luzern, Zug und Cham beträgt der mittlere tägliche Wasserbedarf:

Luzern:	298 l/Tag/Einwohner
Zug:	329 l/ „ „
Cham:	318 l/ „ „
Mittel:	315 l/Tag/Einwohner

Die Gesamtbevölkerung des Reußgebietes betrug nach der Volkszählung vom 1. Dezember 1910: 236 270 Einwohner. Daraus berechnet sich ein gesamter Wasserbedarf von 27 171 Mill. m^3 pro Jahr.

Dabei ist sicher die Zahl von 315 l für die ländlichen Bezirke zu hoch angenommen. Unter Berücksichtigung

des Fremdenverkehrs in dem gesamten Gebiet erschien aber die Zahl als geeignet, um zu Näherungswerten zu gelangen[103])

Neben dem Wasserbedarf der Menschen ist aber der des Viehbestandes nicht zu vernachlässigen. Nach der Viehzählung vom 30. April 1911 betrug im Reußgebiet die Zahl der: Pferde 7 918, Esel 26, Maultiere 28, Rindvieh 126 719, Schweine 43 381, Schafe 11 609, Ziegen 25 259 Stück.

Der Wasserbedarf dieser Tiere beträgt nach *Klimmer*[104]) im Mittel für:

Pferd und Rind: 50 l pro Tag und Stück
Schweine, Schafe, Ziegen: 12 l „ „ „ „

Daraus berechnet sich ein gesamter Wasserbedarf pro Jahr von 2,810 Mill. m³.

Dieser Betrag wird im Gegensatz zu dem menschlichen Bedarf nur in geringem Maße als Abwasser den Flüssen zurückgegeben.

Der Wasserbedarf der Industrieanlagen des Reußgebietes ließ sich mangels Angaben nicht genau ermitteln. Der Hauptkonsument, die Papierfabrik Perlen, hatte die Freundlichkeit folgende Angaben zu machen: Durch eigene Pumpanlage entnehmen sie dem Grundwasserstrom der Reuß pro Jahr ca. 5,000 Mill. m³, wobei allerdings der größte Teil als Abwasser wieder der Reuß zurückgegeben wird.

Stellen wir die oben errechneten Zahlen zusammen, so ergibt sich daraus eine totale jährliche Wasserentnahme von: 34,981 Mill. m³.

Die jährliche Gesamtabflußmenge des Reußgebietes beläuft sich auf 4637,000 Mill. m³; der obige Betrag entspricht demnach einem Anteil von 0,76 %.

Die Ermittlung der gesamten Verbrauchsmenge stößt auf größere Schwierigkeiten als die obige Berechnung.

Nach *R. Abel*[105]) beträgt die mittlere tägliche Wasserausscheidung des Menschen durch die Atmung 300 gr, durch die Haut 600 gr, total also 900 gr = 0,9 l.

[103]) Das Gastgewerbe und der Fremdenverkehr an der Schweiz. Landesausstellung Bern 1914. Herausgeg. vom Schweiz. Hotelierverein Basel 1915.
[104]) Klimmer: Veterinärhygiene.
[105]) R. Abel: Handbuch der praktischen Hygiene. I. Bd. S. 247.

Was an Wasser bei der Ausscheidung von Kot und Harn abgegeben wird, wird durch die Abwässer zum größten Teil den Flüssen wieder zugeführt, sodaß wir uns auf die Berechnung der Verdunstungsmengen beschränken.

Die gesamte Verdunstungsmenge der Bevölkerung des Reußgebietes (Fremdenverkehr berücksichtigt) beträgt nach den obigen Zahlen pro Jahr 82970 m^3.

Machen wir die entsprechende Rechnung für den Viehbestand unter Voraussetzung folgender Verdunstungsmengen nach *Ellenberger-Scheunert*[106])

Pferd und Rind: ca. 37 l pro Tag
Schweine, Ziegen, Schafe: ca. 7 l „ „

so erhalten wir daraus einen totalen Wasserverbrauch pro Jahr von: 2024163 m^3.

Der gesamte Wasserverbrauch von Mensch und Tier, der durch die Verdunstung dem Wasserhaushalt der Reuß entzogen wird, beträgt demnach: 2,107 Mill, m^3.

Ist diese Zahl absolut genommen auch sehr beträchtlich, so beträgt ihr Anteil an der gesamten Verlustmenge des Reußgebietes blos 0,14 %. Die Ableitung der Lorzequellen nach Zürich erhöht diesen Anteil auf 0,30 %. Aus diesen Zahlen geht hervor, daß der menschliche Einfluß auf die Abflußverhältnisse unbedeutend ist und, da die Größen innerhalb der Fehlergrenze liegen, vernachlässigt werden darf.

D) Der Einfluß der Gletscher auf die Wasserführung.

Beim Vergleich der Abflußflächen der Stationen Andermatt und Werthenstein (S. 94) erkannten wir den ausschlaggebenden Einfluß der Gletscher und Firnflächen auf die sommerliche Wasserführung. Sie verhindern, daß nach Beendigung der Schneeschmelze die Wasserlieferung des Einzugsgebietes der Reuß auf ein Minimum zurückgeht. Die Betrachtung der Abflußfläche von Werthenstein ergab, daß in den Sommermonaten Niederwasser-Beharrungszustände auftreten, die wir bei Andermatt nur im Winter unter dem Einfluß der tiefen Wintertemperaturen treffen. Es erschien

[106]) Ellenberger-Scheunert: Physiologie.

deshalb äußerst interessant, den Betrag der Schmelzwasserlieferung der Gletscher zahlenmäßig festzuhalten.

Nun treffen wir im Verlaufe unserer Untersuchungsperiode im Jahre 1911 eine Trockenzeit von $2^1/_2$ Monaten (28. VI. — 14. IX.). Wenn auch das Beobachtungsmaterial dieser ersten Jahre infolge mangelnder Kontrolle der Sohlenveränderungen bei Hochwassererscheinungen nicht in Extenso verarbeitet werden konnte, so gestatten die Messungen während dieser Trockenperiode doch, zu angenäherten Werten über den Betrag der Gletscherlieferung zu kommen.

In den verschiedenen Teilgebieten wurden folgende Werte des spezifischen Abflusses ermittelt:

Mittlere monatliche Abflußmengen in l/sec pro km².

		Juli:	August:
1. Andermatt	Reuß	144.7 l/sec/km²	98.9 l/sec/km²
2. Husen	Meienreuß	224.1 „	166.2 „
3. Hinterbristen	Kärstelenbach	220.9 „	189.6 „
4. Seedorf	Reuß	124.4 „	94.8 „
5. Ibach	Muota	49.0 „	20.5 „
6. Werthenstein	Kl. Emme	13.2 „	9.6 „

Die vier ersten Stationen betreffen die Einzugsgebiete mit ausgedehnten Firn- und Gletscherarealen, während die übrigen keine besitzen.

Die Tabelle zeigt, daß auch diese Gebiete nicht vollkommen abflußlos werden, sondern während der Zeit des Aussetzens der Niederschläge eine ziemlich gleichbleibende Wassermenge zum Abfluß bringen, die durch das Quell- und Sickerwasser geliefert wird.

Betrachten wir diese Abflußmengen als die eigentliche, von der Speisung der Gletscher unabhängige, Gebietsleistung, so können wir diese Werte von den Angaben der ersten vier Stationen in Abzug bringen, und den Rest angenähert als Gletscherlieferung annehmen. Diese Gebietsleistung wird natürlich von dem Ausmaß der vorangegangenen Niederschlagsmengen und den besonderen Verhältnissen der Einzugsgebiete abhängen. Daher werden die Zahlen des Kl. Emmegebietes wegen geringerer Niederschläge, Undurchlässigkeit des Bodens, Beanspruchung des Wassers durch die Vegetation kleiner sein als die Werte solcher Gebiete, die sich von den hochalpinen nur durch die Gletscherlosigkeit unterscheiden.

Die Zahlen über den spezifischen Abfluß der Muota eignen sich nach der Größe der Niederschläge und der Lage des Gebietes besser zu Vergleichen. Dagegen sind in der großen Durchlässigkeit des Bodens, der geringen Vegetation größerer Teile, Gründe zu erblicken, welche die Zahlen zu groß werden lassen. In den ausgedehnten Karrenfeldern wird das Wasser sofort versickern, der Verdunstung entzogen und sehr verzögert zum Abfluß gebracht.

Wenn wir also den folgenden Berechnungen die Zahlen der Muota zu Grunde legen, so werden die Ergebnisse als Minima zu betrachten sein. Dazu kommt, daß die Angaben über das Gletscherareal zum großen Teil auf Karten beruhen, deren Aufnahme zwischen 1880 und 1890 durchgeführt wurde, daher in Anbetracht des seitherigen Rückganges unserer Alpengletscher zu groß sind. Demnach werden die berechneten Werte wieder zu klein ausfallen. Wir möchten deshalb die Zahlen nur als untere Grenze der Wasserlieferung der Gletscherflächen betrachten.

Wir haben nun, um die Rechnung durchzuführen, von den Angaben der Pegelstationen der Gebiete mit Gletscherbedeckung die Zahlen der Muota abgezogen und daraus die Wassermengen in l/sec pro km², bezogen auf das Gesamteinzugsgebiet, erhalten. Multipliziert man diese Werte mit dem Flächeninhalt des Gesamtgebietes und dividiert die Produkte durch die Fläche der Gletscherareale, so muß daraus die Lieferung in Litern pro Sekunde und pro km² Gletscherareal resultieren.

Die Zahlen lauten:

	Juli:	August:
Andermatt	777 l/sec/km²	637 l/sec/km²
Husen	793 „	652 „
Hinterbristen	648 „	638 „
Seedorf	558 „	548 „

Die Zahlen für Seedorf werden wir infolge des Grundwasserstroms bei der Pegelstation nicht in Betracht ziehen und nur die drei obern berücksichtigen. Die Werte des Juli werden infolge der Möglichkeit, daß noch Schneereste außerhalb der Firnfelder zum Abfluß kommen konnten, eher etwas zu groß ausgefallen sein, während die Augustzahlen infolge des Temperaturrückganges wieder eher etwas zu klein sein werden.

Nehmen wir das Mittel der drei Werte, so erhalten wir als spezifischen Abfluß der Gletscherflächen im:

Juli: 739 l/sec/km² und im August: 642 l/sec/km²

Der Arbeit von *G. Fantoli* über den Einfluß der Gletscher auf den Wasserhaushalt des Comer- und Langensees entnehmen wir folgende Zahlen (Ref. in Ztschr. f. Gewässerkde. von *H. Gravelius*[107]):

In der Zeit größter Abschmelzung während der Trockenperioden von 1890—1900 betrug die Wasserspende der Gletscherflächen 600—700 l/sec/km² Gletscherfläche. Unsere Zahlen stehen in Uebereinstimmung mit diesen.

Wenn *E. Roder*[108] für das bündnerische Rheingebiet nach der Lage des Untersuchungsgebietes, Nord- und Ostabdachung des Alpenwalles, die Schmelzwasser schätzungsweise maximal zu 500 l/sec/km² veranschlagt, so greift er damit bestimmt zu niedrig. Der Einfluß der Exposition wird sicherlich durch die Hebung der Isothermen, die am deutlichsten zur Zeit der intensiven Abschmelzung ausgeprägt ist[109]), aufgehoben. Unsere Zahlen geben dementsprechend auch für den Nordhang der Alpen ungefähr die gleichen Beträge wie für den Südhang.

Für das gesamte Reußgebiet betrug während dieser beiden Monate die mittlere sekundliche Abflußmenge:

1911: Juli: 185.9 m³/sec August: 128.8 m³/sec

Berechnen wir mit unsern ermittelten Zahlen die gesamte Gletscherlieferung, so erhalten wir bei einer Gletscherfläche von total 133.81 km² = 4 % des Gesamtgebietes

im Juli: 99.0 m³/sec und im August: 86.0 m³/sec

d. h. für den Juli einen Anteil von 53 % und für den August von 67 % an der Gesamtwasserlieferung des Reußgebietes.

4. Vergleich mit den Untersuchungsresultaten anderer Gebiete.

Zum Schlusse sollen unsere Resultate mit denen entsprechender Untersuchungen verglichen werden, und zwar nach zwei verschiedenen Richtungen.

---

[107]) H. Gravelius: Der Einfluß der Gletscher auf den Wasserhaushalt der Alpenflüsse. Ztsch. f. Gew.-Kde. B. V 1903. S. 3. Referat über eine Arbeit von G. Fantoli.

[108]) E. Roder: A. a. O., S. 32.

[109]) A. de Quervain: A. a. O., S. 43.

Einerseits versuchen wir, unsere Untersuchungen innerhalb der Verhältnisse ganz Mitteleuropas einzugliedern indem wir unsere Mittelwerte zur Aufstellung einer Abflußgleichung verwenden und diese in Beziehung setzen zu den Resultaten *Keller's*. [110])

Anderseits stellen wir die Einzelresultate verwandter Untersuchungen zusammen und versuchen das Gleichartige oder das Gegensätzliche in den Endergebnissen hervorzuheben.

Die Abflußgleichung des Reußgebietes.

Entsprechend dem Vorgehen *Keller's* haben wir versucht, aus den Jahreswerten von Niederschlag-Abfluß und Verlust für das gesamte Reußgebiet eine Abflußgleichung aufzustellen. Dabei wurden allerdings nicht die Veränderungen der Mittelwerte räumlich verschiedener Gebiete betrachtet, sondern die Veränderung der Jahreswerte eines einzigen Gebietes. Die Anwendbarkeit der Methode *Keller's* bleibt aber bei beiden Problemen dieselbe.

Wir bezeichnen den Niederschlag mit x, den Abfluß mit y und den Verlust mit z. Tragen wir nun die entsprechenden Jahreswerte für x, y und z graphisch auf, x als Abszisse, y und z als Ordinaten, so erhalten wir zwei Punktschwärme, deren Mittellinien die Hauptlinie des Abflusses und die Hauptlinie des Verlustes darstellen. Bei der geringen Zahl von Punkten sind allerdings noch ziemliche Freiheiten in der Linienführung vorhanden, sodaß den ermittelten Gleichungen keine absolute Bedeutung beigemessen werden kann. Deshalb beschränken wir uns auch auf die Wiedergabe der Gleichungen der Hauptlinien und sehen von einer Festlegung der Grenzlinien ab.

Die gefundenen Gleichungen lauten:

Hauptlinie des Abflusses: $y = 0.922\ x - 300$

Hauptlinie des Verlustes: $z = 0.078\ x + 300$

Vergleichen wir damit die Formeln *Keller's* für Mitteleuropa [111]), Sie lauten:

$y = 0.942\ x - 405$ $\quad$ $z = 0.058\ x + 405$

Der Koeffizient von x in der Gleichung der Hauptlinie des Abflusses (er entspricht der triagonometrischen

[110]) H. Keller: A. a. O., S. 612.

[111]) H. Keller: A. a. O., S. 615.

Tangente des Winkels der Geraden mit der positiven x-Achse) ergibt für das Reußgebiet eine geringere Steilheit der Geraden als für das gesamte Mitteleuropa. Demnach findet in unserem Gebiet eine langsamere Zunahme des Abflusses mit der steigenden Niederschlagshöhe statt, als sie das Durchschnittsverhalten Mitteleuropas aufweist. Der Grund dürfte darin zu suchen sein, daß in den von *Keller* verwendeten Arbeiten die Niederschlagshöhen des Hochgebirges wesentlich unterschätzt wurden und dementsprechend das Abflußvermögen dieser Gebiete überschätzt wurde.

Um diese Abweichungen gegenüber Mitteleuropa zahlenmäßig festzuhalten, setzten wir unsere 10-jährigen Mittelwerte der Niederschlagsmengen des Reußgebietes in die *Keller*'sche Gleichung ein und entnehmen ihr den zugehörigen Abfluß.

Für x = 1814 mm erhalten wir auf diese Weise y = 1305 mm gegenüber dem direkt bestimmten Wert 1370 mm, d. h. also 5 % weniger; die Abweichung ist also trotz allem nicht beträchtlich. In Bezug auf das Durchschnittsverhalten Mitteleuropas wäre das Reußsystem den Gebieten mit zu hohem Abflußvermögen zuzurechnen.

Das gleiche Ergebnis erhielt *Fischer* für das Thurgebiet, während das Glattal das Umgekehrte zeigte [112]).

Führen wir die gleiche Rechnung für das Einzugsgebiet der Station Sarnen durch, das, wie das Glattal, Seeflächen, aber keine Gletscher aufweist, so erhalten wir zu dem Mittelwert x = 1782 mm aus der Formel y = 1275 mm gegenüber y = 1247 mm, d. h. ca. 2 % mehr als direkt bestimmt. Also das gleiche Bild wie für die Glatt.

Die Resultate für das Reußgebiet decken sich also im Sinne der Abweichungen mit denen des Thur- und Glattgebietes, während quantitative Unterschiede auftreten. Da sich die Untersuchungen nicht durchgängig auf die gleiche Periode bezogen, so waren solche von vornherein zu erwarten, dabei hat sich aber das Abflußgesetz auch hier bewahrheitet:

Mit den Niederschlägen nehmen auch die Abfluß- und Verlustmengen zu, die letzteren aber bedeutend langsamer als der Abfluß.

---

[112]) Fischer: A. a. O., S. 103.

Die Untersuchungen für das Thur- und Glattgebiet bezogen sich auf die Periode 1904/5 — 1913/14, sodaß wir die letzten 5 Jahre mit den 5 ersten der unsrigen direkt vergleichen können. Stellt man die Mittelwerte zusammen, so erhält man:

Mittelwerte 1909/10 — 1913/14.

Thur: $x = 1443$ $y = 1034$ $z = 409$ Abflußkoeffizient: 71 %

Reuß: $x = 1848$ $y = 1378$ $z = 470$ „ „ : 75 %

Daraus ergibt sich wieder die Bestätigung des allgemeinen Gesetzes der Zunahme der Abflußmengen mit der Zunahme der Niederschläge und einer geringeren Zunahme der Verlustmengen und daraus resultierend ein größerer Abflußkoeffizient.

Vergleichen wir noch die Einzeljahre untereinander, so zeigt das Jahr 1912/13 die gleichen Abweichungen, sowohl im Reußgebiet als auch im Gebiete der Thur und Glatt: trotz einer geringen Abnahme der Niederschläge eine Zunahme des Abflusses (für die Glatt etwas modifiziert). Es handelt sich also bei dieser Abweichung nicht um eine Eigentümlichkeit des Reußgebietes, sondern um eine allgemeinere Erscheinung, die ihren Grund wohl in dem besonderen Witterungsverlauf des Vorjahres hatte.

Um die Ergebnisse unserer Untersuchungen innerhalb der Resultate anderer Arbeiten einreihen zu können, sind die betreffenden Zahlenwerte aus der in der Einleitung aufgeführten Literatur entnommen und in Tab. 25 nach der Größe der ermittelten Abflußkoeffizienten zusammengestellt worden.

Tabelle No. 25.

Ergebnisse verwandter Untersuchungen.

Flußgebiet	Pegelstation	Periode	Fläche km	Niederschlag mm	Abfluß mm	A/N %
a. Einzugsgebiete mit Hochgebirgsanteil:						
Reuß	Andermatt	1914—19	191	2442	1929	79
„	Mellingen	1914—19	3 382	1785	1362	76
„	„	1910—19	3 382	1814	1370	76
Etsch	Trient	1896—05	9 767	1144	822	73
Rhein	Tardisbrücke	1894—09	4 260	1583	1087	69
Isar		5 Jahre	8 970	986	580	59
Donau	Oberzell	5 „	77 000	1000	585	58
Rhein	Köln	20 „	144 300	911	472	52

Flußgebiet	Pegelstation	Periode	Fläche km	Niederschlag mm	Abfluß mm	A/N %
b) Einzugsgebiet ohne Hochgebirgsanteil:						
Thur	Andelfingen	1904—14	1 696	1356	965	71
Glatt	Niederhöri	1886—14	369	1139	653	58
Theiß	T. Ujlak	1891—00	9 535	1174	600	51
Mosel	Mündung	20 Jahre	28 230	764	334	44
March	Napajedl	1881—05	6 119	724	246	34
Main	Mündung	12 Jahre	20 840	657	187	28
Elbe	Tetschen	15 Jahre	51 000	692	192	28
Theiß	Szegedin	1891—00	138 130	710	196	27
March	Angern	1892—05	25 646	654	148	23

Die Längen der Untersuchungsperioden der aufgeführten Arbeiten sind allerdings so stark verschieden und die Ergebnisse beziehen sich zudem auf so verschiedene Zeitabschnitte, daß die Zahlenwerte streng genommen nicht miteinander verglichen werden können. Immerhin sind die Tatsachen, die in der *Keller*'schen Abflußformel für Mitteleuropa enthalten sind, deutlich zu erkennen*). Mit wachsendem Einzugsgebiet und mit Verminderung des prozentualen Anteils des Hochgebirges an der Gesamtfläche nehmen die Abflußkoeffizienten im allgemeinen ab, parallel mit einer Abnahme der Niederschlagshöhen und einer Verminderung der Abflußhöhen. Das Reußgebiet steht dementsprechend an der Spitze der untersuchten Flußgebiete.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.

Fassen wir unsere Ergebnisse kurz zusammen: Ein Hauptteil der Untersuchungen beschäftigte sich mit der Darstellung der Niederschlagsverhältnisse in einem Hochgebirgsgebiete. Die Meßergebnisse der Regenmeßstationen des Reußgebietes zusammen mit den Ergebnissen der Totalisatoren wurden zu einem Bilde der räumlichen Verteilung der Niederschläge verarbeitet. Das Resultat dieser Untersuchungen ist die Niederschlagskarte des Reußgebietes. Sie zeigt ein deutliches Zusammenfallen der Gebiete maximaler Niederschläge mit den Gebieten größter Massenerhebung; wie

*) Die von Keller benützten Zahlenwerte besitzen die gleichen Nachteile.

auch die Doppelwirkung dieser Erhebungen (einerseits Vermehrung der Niederschläge, anderseits Verminderung durch die Abhaltung der regenbringenden Winde).

Die Verarbeitung des vorhandenen Materials zeigte mit aller Deutlichkeit die verwickelten Verhältnisse der Niederschlagsverteilung in einem Hochgebirgsgebiete, wo nur Einzeluntersuchungen jeder Talschaft zu einer richtigen Darstellung führen können. Analogieschlüsse müssen hier unbedingt falsche Resultate zeitigen.

Als Nebenergebnisse dieser ersten Untersuchungen ließ sich eine Hebung der Isohyeten in den Gebieten. maximaler Massenerhebung nachweisen, entsprechend der Hebung der Höhengrenzen. Für diese Gebiete zeigte sich ebenfalls eine maximale Zunahme der Niederschlagshöhe mit wachsender Meereshöhe. Im Einzelnen ergab sich dabei eine größere Zunahme der Niederschläge mit der Meereshöhe als die früheren Untersuchungen mit Hilfe der älteren Messungsreihen nachweisen konnten, Gleichzeitig damit wurde auch die Höhe der Zone maximaler Niederschläge im Reußgebiete von 2700 – 2800 m ermittelt, also beträchtlich höher gefunden, als die bisherigen Ansichten annahmen.

Mit Hilfe der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge wurde auch für unsere Untersuchungsperiode die Sonderstellung des obern Reußtales unter südalpinem Einfluß bestätigt. Ist im Mittelland das Sommerhalbjahr ausgesprochen niederschlagsreich, so tritt im Alpengebiet voller Ausgleich zwischen den beiden Jahreshälften ein.

Der zweite Hauptteil der Untersuchungen galt der Betrachtung der Abflußverhältnisse. Auch hier ergab sich wieder gegensätzliches Verhalten zwischen Alpen und Mittelland. In den Hochgebirgsgebieten fanden wir volle Periodizität der Wasserführung im Verlauf eines Jahres. Hoch- und Niederwassermonate haben ihre wohlbestimmte zeitliche Lage. Die Mittellandflüsse dagegen lassen diese Periodizität völlig vermissen, jeder Monat kann Hoch- und Niederwasser in bunter Aufeinanderfolge aufweisen.

An Hand der Abflußflächen ließ sich für den Abflußvorgang des Gesamtgebietes nachweisen, daß er wesentlich bestimmt ist durch die Abflußverhältnisse in den Hochgebirgsteilen. Der Einfluß des Mittellandes vermag der Reuß nicht den Charakter eines Hochge-

birgsflusses mit periodischer Wasserführung zu nehmen.

Die in den Reußlauf eingeschalteten Seen bringen für den Unterlauf eine Ausgeglichenheit der Wasserführung zu Stande, die im Oberlauf oder bei den Mittellandflüssen ohne Seen völlig fehlt.

Die Hochwassererscheinungen werden durch den ausgleichenden Seeinfluß wesentlich abgeändert. Im Oberlauf der Reuß wie im Entlebuch rasches Auftreten und Verschwinden der Hochwasserwelle. Im Unterlauf wohl rasches Ansteigen, aber durch die vorübergehende Wasserzurückhaltung der Seen bedächtiges Ausklingen.

Der Schlußabschnitt galt den Beziehungen zwischen Niederschag und Abfluß. Er ergab, daß diese Beziehungen nicht ohne Mitbetrachtung der Temperatur untersucht werden können.

Wir erkannten, wie das Ausmaß der Niederschlagsmengen wohl im allgemeinen das Ausmaß der Abflußmengen bestimmt, wie aber nur teilweise die Niederschlagsverteilung den Abflußvorgang beeinflußt. Für die alpinen Gebiete ergab sich für Temperaturverlauf und Abflußvorgang volle Parallelität, den Niederschlägen kommt einzig in den Sommermonaten vorübergehender Einfluß auf die Abflußverhältnisse zu.

Für das Mittelland finden wir dagegen während des größten Teiles des Jahres volle Uebereinstimmung zwischen Niederschlagsverteilung und Abflußvorgang. Einzig in der Zeit der Schneeschmelze vermag die Temperatur diese Beziehungen zu verdecken. Für die Größe der Abflußkoeffizienten fand das allgemeine Abflußgesetz Bestätigung. Auch im Reußgebiet treffen wir von Jahr zu Jahr und von Teilgebiet zu Teilgebiet mit wachsender Niederschlagsmenge Zunahme der Abflußmengen. Die Zunahme der letzteren ist bedeutend stärker als die ebenfalls wachsende Verdunstung. Dementsprechend ergab sich für die Gebiete maximaler Niederschläge auch ein Maximum der Abflußkoeffizienten.

Mit Hilfe einer ausgesprochenen Trockenperiode wurde der Anteil der Schmelzwasser der Gletscher und Firnflächen an der Gesamtwasserführung der Reuß zu mehr als 50 % (53—67 %) errechnet. Daraus ergab sich wieder der Charakter der Reuß als typischer Hochgebirgsfluß.

Ueber die Zusammensetzung der Verlustmengen des Wasserhaushaltes der Reuß ließ sich nichts Bestimmtes aussagen, da infolge der Firn- und Gletschergebiete der Betrag der Aufspeicherung und nachfolgenden Speisung nicht genau zu ermitteln ist. Wohl ergab sich aber, daß die Verdunstungsmengen der Seeflächen des Reußgebietes den Abflußkoeffizienten um 3% zu erhöhen vermöchten, wenn diese Mengen zum Abfluß gelangen würden. Der Einfluß des Menschen erwies sich trotz absolut hohem Wasserverbrauch prozentual so gering, daß er innerhalb der Fehlergrenzen der Ermittlung der Abfluß- und Niederschlagsmengen fällt.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Vorwort 3

ERSTER TEIL

1. Einleitung 5
2. Die Landschaft des Reußgebietes 10
   - A. Begrenzung 11
   - B. Die Talschaften des Reußgebietes 12
     - I. Das Reußgebiet bis zum Vierwaldstättersee . . . 12
     - II. Das Reußgebiet von Seedorf bis zur Einmündung der Kleinen Emme 16
     - III. Das Reußgebiet von der Einmündung der Kleinen Emme bis zur Einmündung in die Aare 20
   - C. Geologischer Bau und Bodenbeschaffenheit 23
   - D. Bodenbedeckung und Gliederung nach Höhenstufen . . 27
3. Temperaturverhältnisse und Windverteilung 31
   - A. Die Temperatur 31
   - B. Die Windverteilung 36

ZWEITER TEIL

Die Niederschlagsverhältnisse des Reußgebietes.

1. Das Beobachtungsmaterial 39
2. Die Verarbeitungsmethode 41
   - A. Allgemeines 41
   - B. Die Verarbeitung nach Teilgebieten 45
     - I. Das Reußgebiet oberhalb des Vierwaldstättersees . 46
     - II. Das Reußgebiet vom Beginn des Vierwaldstättersees bis zur Mündung der Kleinen Emme 51
     - III. Das Reußgebiet von der Mündung der Kleinen Emme bis Mellingen 52
   - C. Ergebnisse aus der Untersuchung der Teilgebiete . . . 53
3. Die räumliche Verteilung der Niederschläge 59

Seite
4. Die Niederschlagsmengen der Teilgebiete 61
5. Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge 63
6. Der Anteil des Schnees am Niederschlag 70
7. Die räumliche Verteilung der Niederschlagstage 75
8. Die jährlichen Schwankungen der Niederschläge 77
9. Die Niederschlagsdichte 78

DRITTER TEIL
Die Abflußverhältnisse des Reußgebietes.

1. Das Beobachtungsmaterial 83
2. Die Meßstellen 84
3. Die Phasen und Bereiche der Wasserführung 86
4. Die Veränderungen der Wasserführung und die Veränderlichkeitsperioden 92
5. Die Wassermengen an den Pegelstationen des Reußgebietes 98

VIERTER TEIL
Der Wasserhaushalt der Reuß.

1. Allgemeines 102
2. Der Wasserhaushalt der Teilgebiete 106
A. Die Triebkräfte des Abflußvorganges 106
B. Die Abflußkoeffizienten 109
3. Der Wasserhaushalt des Gesamtgebietes 110
A. Der Abflußkoeffizient 110
B. Das Verhältnis der Schwankungen von Niederschlag und Abfluß 111
C. Der Einfluß des Menschen auf den Wasserhaushalt der Reuß 114
D. Der Einfluß der Gletscher auf die Wasserführung . . . 116
4. Vergleich mit den Untersuchungsresultaten anderer Gebiete 119
Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse 123
Inhaltsverzeichnis 126

ANHANG: 2 Tafeln

Tafel 1

Fig. 1. Niederschlagskarte des Reußgebietes 1909/10-18/19, M. 1:250000
„ 2.) Abhängigkeit der Niederschlagshöhe von der Meereshöhe in
„ 3.) den Teilgebieten
„ 4. Schneetage in % der Niederschlagstage
„ 5. Hyetographische- und Hypsographische Kurve
„ 6. Mittlere Abhängigkeit der Niederschlagshöhe von der Meereshöhe

Tafel 2.

Fig. 7. Abflußfläche der Pegelstation Andermatt
„ 8. „ „ „ Werthenstein
„ 9. „ „ „ Mellingen
„ 10. Dauerkurven der Pegelstationen
„ 11. Niederschlag, Abfluß und Temperatur in Andermatt
„ 12. „ „ „ „ im Entlebuch
„ 13. Niederschlag und Abfluß im Februar 1919
„ 14. „ „ „ „ Juni 1918
„ 15. Niederschlag, Abfluß und Verlust im Reußgebiete

Curriculum vitae.

Ich, *Rudolf Roth* von Basel, bin geboren zu Basel am 2. Mai 1895, als Sohn des *Traugott Roth*, Tapezierer von Basel, und seiner Ehefrau *Philomena Haberthür*.

Ich besuchte die Schulen von Basel und bestand im Herbst 1914 an der Obern Realschule zu Basel die Reifeprüfung.

Seit Herbst 1914 an der Universität Basel immatrikuliert, besuchte ich die Vorlesungen und Uebungen der Herren Professoren:

Bieberbach, Braun, Hagenbach, Hassinger, Hecke, Mathies, Mohrmann, Niethammer, Petersen, Spieß, Veillon, Zickendraht, Heman und der Herren Dr. Flatt und Dr. Knapp.

Die vorliegende Arbeit ist entstanden im Geographischen Institut der Universität Basel unter der Leitung von Herrn Prof. *Hassinger*.

Frühjahr 1918 legte ich an der Universität Basel die Prüfung für Lehramtskandidaten der mittleren Schulstufe ab.